



Erken Eosen yaşlı adakitik andezitler (Gümüşhane, KD Türkiye) içerisindeki mikrogranüler anklavların jeokimyasal karakteristikleri

Geochemical characteristics of microgranular enclaves in Early Eocene adakitic andesites (Gümüşhane, NE Türkiye)

MEHMET ALİ GÜCER ^{1*}, ABDULKADİR MURAT GÜNER ², OKAY ÇİMEN ³

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

² Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane, Türkiye

³ Munzur Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli, Türkiye

Geliş (*received*): 26 Ocak (January) 2024 Kabul (*accepted*): 18 Haziran (June) 2024

ÖZ

Doğu Sakarya Zonu'ndaki (KD Türkiye) erken Senozoyik magmatizması, bölgesel tektonomagmatik gelişime dair önemli veriler sağlamaktadır. Bölgede, adakit veya adakitik intrüzif/ekstrüzif kayalar Geç Paleosen'den Pliyo-Kuvaterner döneme kadar yaygın olarak gözlenmektedir. Çalışma alanında, Erken Eosen adakitik andezitler, genellikle 10 km²'den küçük mostralar halinde gözlenmektedir. Adakitik bileşimli bu andezitler bol miktarda mikrogranüler anklav içermekte olup bu çalışmada petrografik/jeokimyasal özellikleri ve ana kayay ile olan petrolojik ilişkileri irdelenmiştir. Ana kayaya kıyasla nispeten bazik bileşimli anklavlar, küreselden elipsoidale kadar değişen şekillerde ve birkaç cm ile 20 cm arasında değişen boyutlarda gözlenmektedir. Anklavlar mikrolitik yer yer porfirik dokulu olup başlıca plajiyoklas, hornblend, klinopiroksen, ortoklas ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Gerek petrografik gerekse petrokimyasal özellikleri anklavların bazaltik andezit türünde olduğunu ve sub-alkalin bir magmadan türemiş olabileceğini göstermektedir. Ana ve iz element değişimleri, gelişimlerinde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve plajiyoklas, piroksen, hornblend, magnetit ve apatit ayrışmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermiştir. Anklav ve ana kayaların benzer iz element davranışları felsik ve mafik magmaların karışması esnasındaki etkileşim süreçlerini işaret edebilir. NTE dağılımları ise gelişimlerinde hornblend fraksiyonlaşmasının önemli rol oynadığını, buna karşılık plajiyoklas ayrışmasının etkili olmadığını işaret etmektedir. Petrokimyasal veriler, anklavların ana magmasının, kuzey Neotetis Okyanusu'nun tamamen kapanmasından hemen sonra; genişlemeli tektonik rejimin başlangıç aşamalarında, amfibol-eklojit fasiyesi koşullarında okyanusal bazaltların kısmi erimesi ile üretildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adakitik andezit, doğu Sakarya zonu, Erken Senozoyik, mikrogranüler anklav, petrokimya

ABSTRACT

The early Cenozoic magmatism in the Eastern Sakarya Zone (NE Turkey) provides significant insights into the regional tectonomagmatic evolution. Adakite-like intrusive/extrusive rocks have been widely observed from the Late Paleocene to the Plio-Quaternary period in the region. In the study area, Early Eocene adakitic andesites are observed in outcrop areas smaller than 10 km² and they contain abundant microgranular enclaves. This study presents petrochemistry data of the enclaves and discusses petrological relationships with the host rock. The enclaves, with more basic composition compared to the parent rocks, are observed in ranging from a few to 20 cm in size. They are microlithic to porphyritic in texture and mainly composed of plagioclase, hornblende, clinopyroxene, orthoclase and opaques. Both petrographic and petrochemical characteristics indicate that they are of basaltic and basaltic andesite and may have derived from a sub-alkaline magma. Major and trace element variations indicate that fractional crystallization was effective, and plagioclase, pyroxene, hornblende, magnetite and apatite fractionation played an important role. Similar trace element distributions of enclaves and host rocks may indicate interaction processes while mixing of felsic and mafic magmas. Similarly, REE models of the rocks, indicated hornblende fractionation played an important role in their evolution, whereas plagioclase fractionation was less effective. Petrochemical data suggest that the parent magma of the enclaves was produced by the partial melting of oceanic basalts under amphibole-eclogite facies conditions during the initial stages of the extensional tectonic regime just after the complete closure of the northern Neotethys Ocean.

Keywords: Adakitic andesite, Eastern Sakarya Zone, Early Cenozoic, microgranular enclaves, petrochemistry

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1426237>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: maligucer@gmail.com

GİRİŞ

Kayaçların oluşumunda, ilksel bazik magmayı temsil eden mikrogranüler dokulu anklav terimi felsik magmatik kayaların içerdiği koyu renkli, bazik kayaç parçalarını tanımlamak üzere ilk kez Lacroix (1890) tarafından kullanılmıştır. Literatürde en yaygın kabul gören tanımlamanın Didier ve Barbarin (1991) tarafından yapılmış olan anklavlar, olduğu kayaçların kaynak magması, ergiyiklerin oluşum mekanizmaları ve ayrıca kıtasal kabuk ile manto arasındaki etkileşim hakkında önemli bilgiler sağlayabilmektedir (White ve Chappell, 1977). Anklavlar, eşyaşlı felsik (riyolitik) ve mafik (bazaltik) iki farklı magmanın kabuğun

farklı seviyelerinde, özellikle yüzeyde veya baca içerisinde heterojen-fiziksel karışması ya da karışmaması (magma mingling) ile oluşabileceği gibi (Didier ve Barbarin, 1991; Barbarin ve Didier, 1992; Blake and Flink, 2000), bu magmaların derinlerde magma odasında homojen karışmaları (magma mixing) ile de (andezitik hibrid magmalar) oluşabilmektedir. Heterojen karışımında ürün olarak anklavlar, homojen karışımında ise farklı mikroskobik dokular tanımlanmaktadır (Hibbard, 1991). Her ikisinde de magmaların yoğunluğu ve sıcaklığı önemli rol oynamaktadır (Koyaguchi, 1986; Alpaslan, 2001).

Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Doğu Sakarya Zonu (KD Türkiye), Türkiye'nin jeolojik olarak şekillenmesinde önemli bir rol oynayan Alp-Himalaya orojenezinin etkisi ile oluşmuş olup farklı türde magmatik kayalar içerdiği bakımından önemli bir alan konumundadır. Karadeniz havzasının güneydoğu kıyısı boyunca uzanan orojenik bir kuşak meydana getiren bu bölge Mesozoyik dönemde kuzeye yitilen okyanusal litosferin üzerinde gelişmiş eski bir ada yayı olarak bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981).

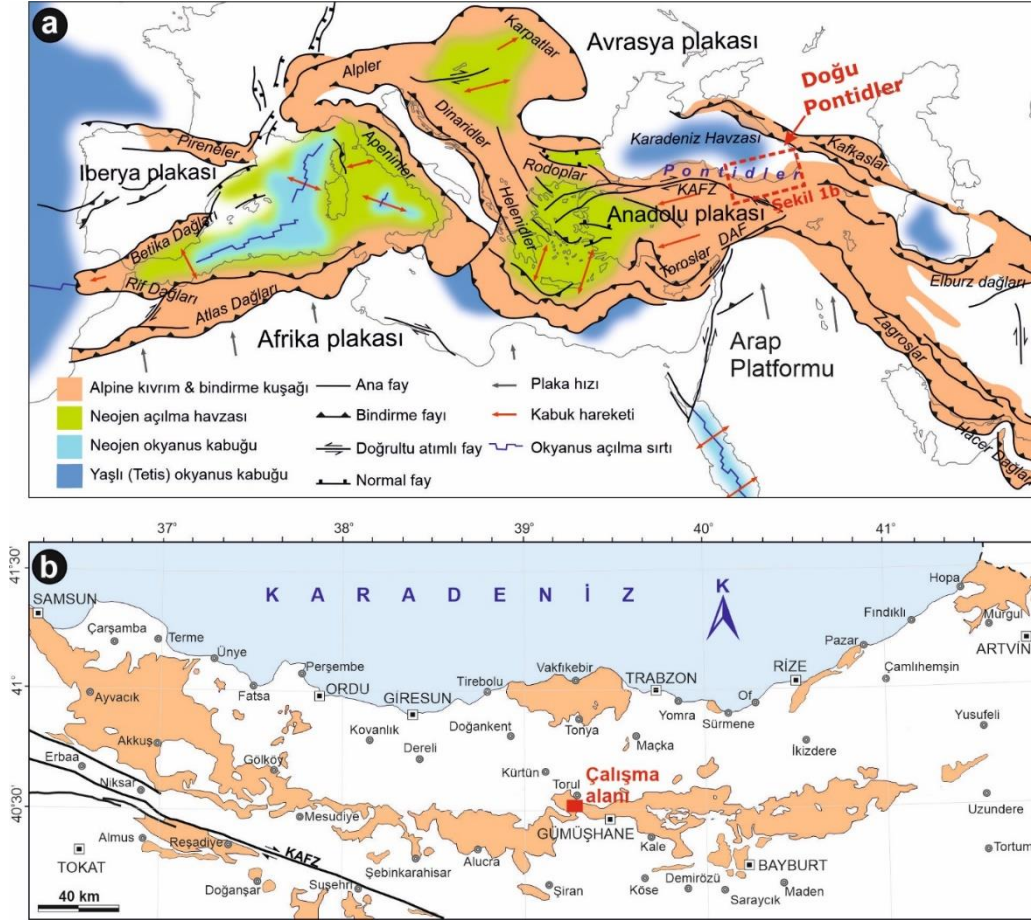
Bölgede yüzeylenen adakitik magmatizma, Türkiye'nin diğer bölgelerine kıyasla nispeten geniş çalışılmış ve çarpışma sonrası adakitik magmatizma için (i) Erken Eosen (Topuz vd., 2005; Karslı vd., 2010a, 2011; Eyüboğlu vd., 2011, 2012; Dokuz vd., 2013; Temizel vd., 2020; Gücer vd., 2017; Gücer, 2021), (ii) Miyosen (Eyüboğlu vd., 2012; Dokuz vd., 2013; Karslı vd., 2019), (iii) Oligosen (Karslı vd., 2020) ve (iv) Pliyo-Kuvaterner (Yücel, 2019) olmak üzere dört farklı dönem tanımlanmıştır. Adakitik bileşime sahip bu kütlelerden bazıları anklav içermeleri bakımından karakteristik olup bunlardan biri olan ve Gümüşhane'nin batısında, Altınpınar (Torul) ve civarında yüzeyleme veren adakitik andezitler çalışma konusu olarak seçilmiştir. Çalışma alanı ve civarında asidik, ortaç ve bazik karakterli volkanik ve piroklastik kayalardan meydana gelen volkanizma, bölgede özellikle kıtasal yay magmatizmasının en iyi gözlemlendiği yerlerden biri olma özelliğindedir (Yücel vd., 2017; Kaygusuz vd., 2019; Arslan vd., 2022; Sipahi vd., 2022; Aydınçakır vd., 2022; Kaygusuz vd., 2022; Sipahi vd., 2023; Arslan ve Temizel, 2023).

Bu çalışmada, Doğu Sakarya Zonunun güney kesiminde, Altınpınar (Torul, Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme sunan erken Eosen yaşlı adakitik andezitler (Gücer, 2021) içerisinde gözlenen ve bugüne kadar çalışılmamış olan anklavların petrografik ve petrokimyasal özellikleri ile magmatik gelişimi ve içerisinde bulunduğu ana kaya ile olan jeolojik ilişkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında, anklavların oluşum mekanizması ve kökeni ortaya konularak bölgenin jeolojisine katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

BÖLGESEL JEOLJİ

Güneybatı Avrupa'dan güneydoğu Asya açıklarına kadar uzanan Alp-Himalaya sistemi, Gondwana'dan türeyen parçaları Avrasya kıtasal kabuğuyla birleştiren genç bir orojenik kuşak konumundadır (Şengör vd., 1988; Storetvedt, 1990; Rosenbaum ve Lister, 2002). Genel olarak, Anadolu levhasının oluşumunda jeolojik açıdan önemli bir rol oynayan Mesozoik-Senozoyik deformasyonlarla karakterize edilmektedir (Şekil 1a).

Pontidlerin kuzey Türkiye'deki ana gövdesi, Geç Kretase'de kuzey Neotetis Okyanusu'nun kuzeye yitimi ve ardından Paleosen-Eosen döneminde Pontidlerin Anatolid-Torid Bloğu (ATB) ile çarpışması sonucu gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Channel vd., 1996; Okay ve Tüysüz, 1999; Yılmaz Şahin vd., 2012). Doğu Pontidler olarak da bilinen bu kısım, Karadeniz'in güneydoğu kıyısı boyunca doğu-batı doğrultusunda uzanan paleo-yayın en iyi korunmuş örneklerinden birini oluşturur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Şahintürk, 1997) ve Karbonifer'den Senozoyik'e kadar oluşmuş çeşitli kaya türlerini içerir.



Şekil 1. (a) Batı Alp dağ kuşağının tektonik haritası. Sadece Alpin (Tersiyer) yapıları gösterilmiştir (kaynak: Woudloper, 2009), **(b)** Doğu Pontidler'deki Eosen volkanik kayaların dağılımı (Arslan vd., 2013 ve Temizel vd., 2016'dan değiştirilmiştir).

Figure 1. (a) Tectonic map of the western Alpine mountain belt. Only Alpine (Tertiary) structures are shown (source: Woudloper, 2009). **(b)** Geological map showing the distribution of the Eocene volcanic rocks in the eastern Pontides (modified after Arslan et al., 2013; Temizel et al., 2016).

Doğu Pontidlerin Variskan temeli Erken Karbonifer metamorfik kayaları (Topuz vd., 2004; Dokuz vd., 2022), Orta Karbonifer riyolitleri (Dokuz vd., 2017a), Orta ila Geç Karbonifer kalk-alkalin intrüzyonlarından (Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012; Karslı vd., 2016; Gücer ve Sarı, 2020; Gücer vd., 2024) oluşmaktadır. Bu temeldeki MORB karakterli metabazitler ve ilişkili metaperidotitler, Reyik Okyanusu'nun okyanusal kompleksleri olarak

yorumlanmaktadır (Dokuz vd., 2011). Permo-Karbonifer sedimanter diziler, temel metamorfik kayaların üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Kandemir ve Loesay-Aubril, 2011). Tüm bu Jura öncesi temel kayalar Erken-Orta Jura bazik ve asidik intrüzifler tarafından kesilmiş (Dokuz vd., 2006; Şen, 2007; Eyüboğlu vd., 2016; Dokuz ve Sünnetçi, 2019) ve ardalanmanın tabanında Ammonitico Rosso fasiesi kireçtaşlarının eşlik ettiği volkaniklastik kayalardan oluşan Şenköy

Formasyonu (Kandemir ve Yılmaz, 2009) tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.

Geç Jura - Erken Kretase kireçtaşları, Erken Jura volkano-sedimanter kayaçları üzerinde uyumlu ve/veya uyumsuz olarak uzanmaktadır (Dokuz vd., 2017b). Kireçtaşları ayrıca kuzeyden güneye doğru önemli fasiyes değişiklikleri gösteren Geç Kretase sedimanter örtüsü ile uyumlu veya uyumsuz olarak örtülmektedir. Kuzeyde esas olarak volkano-klastik ve sedimanter kayaçların ardalanmasından oluşurken (Aydın vd., 2020), Doğu Pontidlerin güneyinde türbiditik sedimanter kayaçlar tüm ardalanmaya hakimdir (Saydam Eker vd., 2016; Saydam Eker, 2020; Saydam Eker ve Arı, 2023). Özellikle kuzey-güney geçiş zonunda volkanoklastik kayaçlara yitimle ilişkili Geç Kretase intrüzifleri eşlik etmektedir (Kaygusuz vd., 2008, 2018; Karanlı vd., 2010b, 2012; Kaygusuz ve Şen, 2011; Aydın, 2014; Sipahi vd., 2018, 2019, 2020a, 2020b; Yücel vd., 2014, 2017; Aydınçakır, 2016). Bölgedeki tüm birimler Eosen birimleri tarafından uyumsuz olarak örtülmekte olup özellikle Orta Eosen dönemi, volkanik kayaçlar ile temsil edilmektedir (Keskin vd., 2008; Aydınçakır ve Şen, 2013; Arslan vd., 2013; Saydam Eker vd., 2016; Yücel vd., 2017; Şekil 1b).

Bölgedeki Erken Eosen adakitik magmatizmasının, yay-kıta çarpışmasının son aşamalarında meydana geldiği ve Erken Eosen dönemdeki açılma rejimine bağlı olarak, büyük olasılıkla kalın alt kıtasal kabuğun veya okyanusal litosferin bir parçasının kısmi erimesinden oluştuğu bilinmektedir (Topuz vd., 2005, 2011; Karanlı vd., 2010a, 2011; Dokuz vd., 2013; Gücer, 2021). Adakitik volkanizma genellikle 2-5 km²'lik küçük mostralarda halinde yüzeylenirken, adakit benzeri plütonizma 8-10 km²'lik boyutlarda mostralarda vermekte ve

birçoğu anklav içermesi ile karakterize edilmektedir (Gücer, 2021).

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında veri elde edebilmek amacıyla araziden derlenen kayaç numuneleri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmanın hedefi doğrultusunda adakitik andezitler içerisinde yaygın gözlenen anklavlardan 20 civarında örnekleme yapılmış ve bunlardan petrografik tayin amaçlı ince kesitler ve jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Petrografik incelemeler için LEICA DM-EP marka polarizan mikroskop kullanılmış ve LEICA DFC295 marka kamera ile mikro görüntüler alınmıştır.

Birimi temsilen 19 adet anklav örneği ayrılmış ve tüm-kayaç jeokimya analizleri Sample Solution Analytical Technology Co., Ltd. (Wuhan, Çin) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Ana (major) elementler ZSX Primus II marka dalga boyu dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi (XRF) yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz edilen numunelerin ön hazırlık işlemlerinde ergitme yöntemi kullanılmıştır. Akı (flux) işlemleri için lityum tetraborat, lityum metaborat ve lityum florürden (45:10:5) oluşan bir karışım kullanılmış olup sırasıyla oksidan ve ayırıcı madde olarak amonyum nitrat ve lityum bromür kullanılmıştır. Erime sıcaklığı 1050°C ve erime süresi 15 dakika olarak uygulanmıştır. Test koşulları voltaj: 50kV ve akım: 60mA şeklinde olup analizlerde GBW07101-14 standardı kullanılmıştır. Veriler teorik α katsayısı yöntemiyle düzeltilmiş olup bağıl standart sapma (RSD) %2'den azdır. İz element jeokimya analizleri Agilent 7700e marka İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı numune hazırlama

prosedüründe şu adımlar izlenmiştir: (1) 200 mesh boyutunda toz halindeki numunenin 12 saat boyunca 105°C'deki bir fırında kurutulması; (2) 50 mg numune tozunun tartılıp bir Teflon tutucuya yerleştirilmesi; (3) Teflon tutucuya yavaş yavaş 1 ml HNO₃ ve 1 ml HF eklenmesi; (4) Teflon tutucunun paslanmaz çelik bir basınç ceketine yerleştirilmesi ve >24 saat boyunca bir fırında 190°C'ye ısıtılması; (5) Soğutulduktan sonra Teflon tutucunun açılması ve 140°C'de bir ısıtıcı plaka üzerine yerleştirilerek başlangıç kuruluğuna kadar buharlaştırılması ve ardından 1 ml HNO₃ ilave edilip tekrar kuruyana kadar buharlaştırılması; (6) 1 ml HNO₃, 1 ml MQ su ve 1 ml 1 ppm In'lik dahili standart çözeltinin ilave edilmesi ve Teflon tutucunun yeniden kapatılarak >12 saat süreyle 190°C'deki fırına yerleştirilmesi; (7) Nihai çözeltinin bir polietilen şişeye aktarılarak %2 HNO₃ ilavesiyle 100 gr'a seyreltilmesi. Jeokimyasal yorumlar için diyagramlar GCDkit (version 6.2, 2024; Janoušek vd., 2006, <http://www.gcdkit.org/>) ve CoreDRAW® Graphics Suite 2019 (<https://www.coreldraw.com/en/>) yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur.

BULGULAR

Saha İlişkileri ve Petrografi

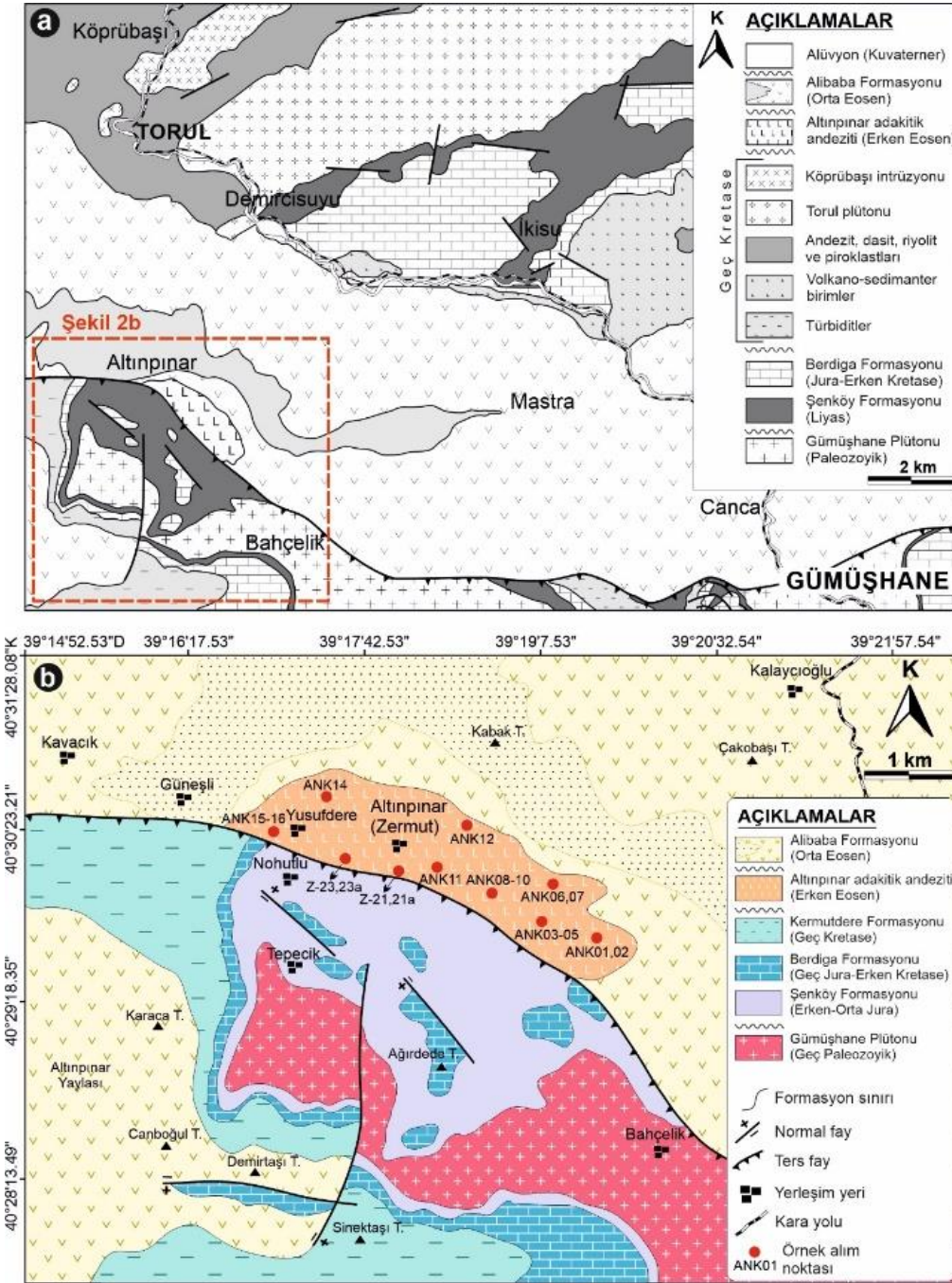
Altınpınar (Torul) ve yakın civarını (Gümüşhane, KD Türkiye) kapsayan çalışma alanı Doğu Sakarya Zonu'nda yer almaktadır. Çalışmaya konu anklavlar ise alanda yüzeyleme veren ve 10 km²'den küçük mostralarda halinde yayılım sergileyen Altınpınar adakitik andezitleri (Gücer, 2021) içerisinde gözlenmektedir (Şekil 2). Adakitik andezitlerin Gümüşhane ve çevresinde Erken Eosen adakitik bileşimli kayalar ile ilişkili olduğu

düşünülmektedir (Gücer, 2021).

Andezitik Ana Kayalar

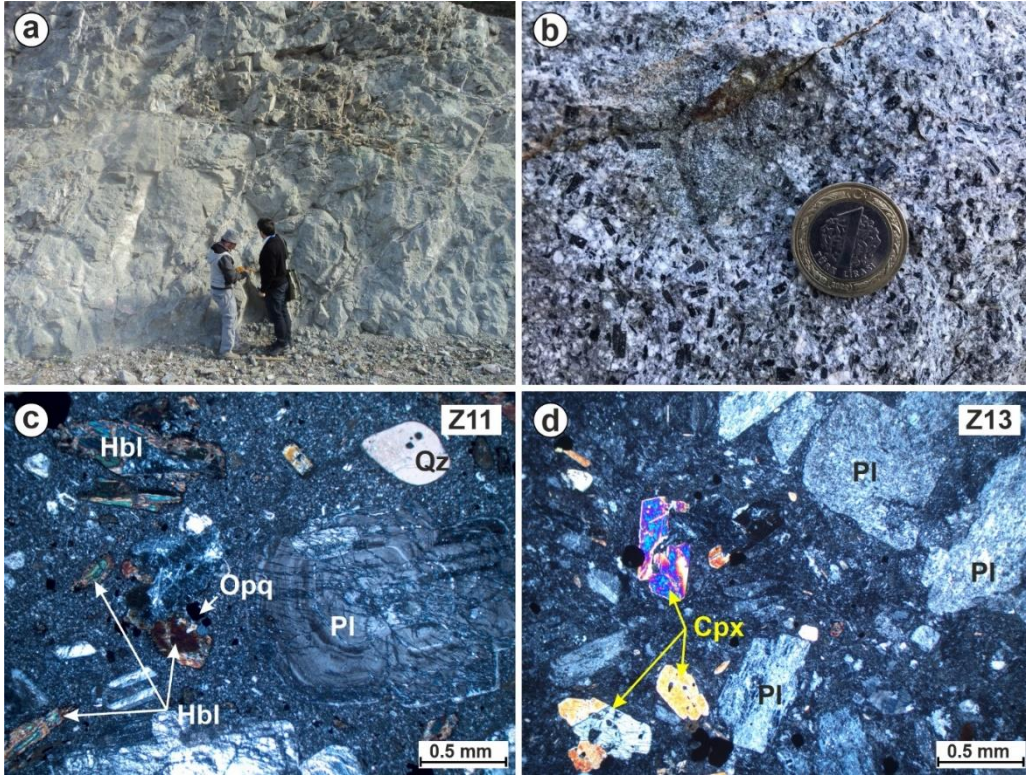
Eosen öncesi litolojileri keserek yerleşen Altınpınar adakitik andezitleri (Gücer, 2021) yaklaşık 5 km²'lik bir alanda yayılım göstermekte olup KB-GD yönünde uzanmakta ve güneyden bir bindirme fayı ile sınırlanmaktadır. Andezitler genel olarak taze ve grimsi renkli görünüm sergilemektedir. (Şekil 3a). Ancak içerisinde gelişmiş ikincil karbonatlaşma ve killeşme gibi alterasyonlar da görülmektedir. Bununla birlikte andezitler, aynı minerallerden oluşan bir hamur içinde yaklaşık 2-3 cm'ye kadar ulaşan boyutlarda iri kristalli plajiyoklas ve hornblend (amfibol) fenokristallerinden oluşan porfirik doku göstermektedir (Şekil 3b). Adakitik andezitler mineralojik olarak başlıca plajiyoklas ve hornblend fenokristalleri ile bu minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen hamur içermektedir. Hamur içerisinde ince taneli piroksen, kuvars ve opak minerallere nadiren rastlanır. Dolayısıyla mineral topluluğu plajiyoklas + hornblend ± piroksen ± Fe-Ti oksit ± kuvars ile sınırlandırılabilir. Adakitik andezitlerde ve yer yer anklavların ana kayalar ile olan sınırları boyunca ikincil kalsit, serizit ve epidot minerallerine de rastlanmaktadır. Hornblend mafik faz olarak en yaygın mineral türünü oluşturur. Fenokristalleri genellikle iri, yarı öz şekilli ve öz şekilli gelişmiş, yer yer kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuştur.

Bazı hornblend kristalleri üzerinde opak mineral inklüzyonları da görülmektedir. Tipik olarak hornblend kristallerinin uzun eksenleri boyunca hamur tarafından kemirilme dokuları sıklıkla görülmektedir (Şekil 3c).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Kaygusuz, 2000 ve Gücer, 2021'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the study area (modified after Kaygusuz, 2000 and Gücer, 2021).



Şekil 3. Adakitik andezitlerin (a) genel arazi görünümü, (b) iri kristalli plajiyoklas ve hornblend mineralleri ve (c-d) mikroskobik görünümü (Pl: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Cpx: Klinopiroksen, Qz: Kuvars, Opq: Opak mineral, görüntüler çapraz nikelde alınmıştır).

Figure 3. (a) Field views of adakitic andesites, (b) coarse grain plagioclase and hornblende minerals and (c-d) photomicrograph of adakitic andesites (Pl: Plagioclase, Hbl: Hornblende, Cpx: Clinopyroxene, Qz: Quartz, Opq: Opaque mineral, XPL image).

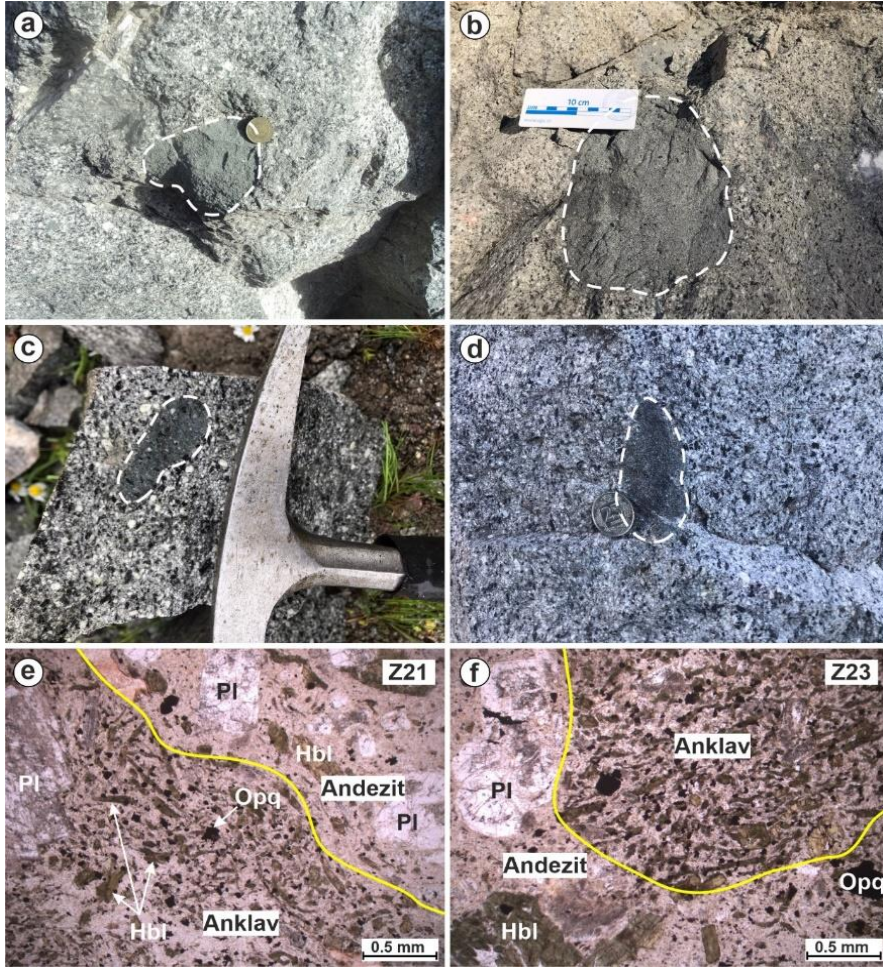
Yapılan mineral kimyası çalışmaları, hornblend minerallerinin Ca-tipi (kalsik) magnezyo-hornblend bileşimine sahip olduğunu ve oluşumları itibarıyla magmatik bir kökeni işaret ettiğini ortaya koymuştur (Gücer vd., 2017). Plajiyoklas çoğunlukla iri kristalli ve yarı öz şekilli fenokristaller, hamurda ise mikrolitler halinde gelişmiştir. Kristaller büyük oranda albit ikizlenmesi göstermekle birlikte, iç içe büyümüş zonlu şekillerde de gelişmiştir (Şekil 3c). Bazı örneklerde farklı büyüklüklerde ve dağınık halde seri dokuyu oluştururlar. Plajiyoklas

minerallerinin bileşimi $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$ aralığında değişmekte ve andezin ve labrador türünü yansıtmaktadır (Gücer vd., 2017). Klinopiroksen kayalarda az görülmekle birlikte, genellikle ince taneli, öz şekilsiz, yer yer yarı öz şekillidir (Şekil 3d). Bazı kristaller kırıklı bir yapı sunmaktadır. Türleri ojit olup $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$ bileşimindedir (Gücer vd., 2017). Opak mineraller ince kristalli ve dağınık halde görülür. Yer yer hornblend ve piroksen kristalleri içerisinde kapanım halinde de bulunmaktadır.

Mikrogranüler anklavlar

İlksel bazik magmanın kalıntıları olan anklavlar çalışma alanında adakitik andezitler içerisinde dağınık halde gözlenmektedir. Dolayısıyla belirli bir gruplaşma sergilememektedir.

Şekilsel olarak küreselden elipsoidala kadar değişmekle birlikte, boyutları birkaç cm ile 20 cm arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 4a-d).



Şekil 4. (a-b) Boyutları 20 cm'ye kadar ulaşan küresel/yuvarlağımsı ve (c-d) küçük ölçekli elipsoidal şekilli anklavların saha görünüşleri. (e-f) Anklavların ana kayalar ile sınırlarının mikroskopik görünüşleri (Pl: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Opq: Opak mineral, görüntüler tek nikolde alınmıştır).

Figure 4. Field views of (a-b) spherical/round-shaped enclaves with up to 20 cm in size, and (c-d) microgranular enclaves with small and ellipsoidal shaped. (e-f) Photomicrographs of enclaves boundaries with the host rocks (Pl: Plagioclase, Hbl: Hornblende, Opq: Opaque mineral, images were taken PPL).

Bununla birlikte, daha çok elipsoidal/oval biçimli olarak gözlenmektedir. Anklavlar adakitik andezitlerle benzer mineralojik bileşime sahip olmakla birlikte mineralojik oranlarında farklılıklar gözlenmektedir (Şekil 4e-f). Mikrolitik dokulu anklavlar içerisinde yer yer iri kristalli (porfirik) plajiyoklas/ortoklas ve hornblend minerallerine rastlamak mümkündür.

Anklavlar başlıca plajiyoklas, hornblend, opak mineral ve az oranda ortoklas minerallerinden meydana gelmekte iken, klinopiroksen ve kuvars aksesuar oranda bulunmaktadır (Şekil 4e-f). Klinopiroksen minerali bazı örneklerde görülmemekte ve hornblend minerallerinin miktarı ise örnekten örneğe değişiklik göstermektedir. Bazı örneklerde gözlenen klinopiroksen mineralleri kayalarda genellikle ince taneli, öz şekilsiz, yer yer ise yarı öz şekilli kristaller halindedir. Opak mineraller ince kristalli ve kayalarda dağınık halde bulunur.

Tüm Kayaç Jeokimyası

Adakitik andezitler içerisindeki anklavların temsili tüm-kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri Tablo 1'de listelenmiştir. Gerek saha gerekse petrografik incelemelerde yer yer alterasyonlar gözlemlendiğinden, ayrışma dereceleri CIA kimyasal ayrışma indekslerine göre test edilmiştir (Tablo 1). Anklavların CIA değerleri 44-47 arasında değişmekte olup taze sınıfa girmektedir. Buna karşılık ana kayalarda ise çok az oranda alterasyon görülmektedir.

Anklavların $Fe_2O_3^*$ ve MgO değerleri sırasıyla %6.91-11.31 ve %4.70-7.18, Mg numarası [Mg# = molar MgO/molar (MgO+FeO*)x100] ise 53-59 arasında değişmektedir. Andezitik kompozisyona sahip ana kayalarda ise bu oran 42-60 arasındadır. Bu değerler

anklavların ana kayaca nispeten daha bazik bir bileşime sahip olduğunu ve her iki magmanın etkileşim gösterdiğini desteklemektedir.

Gerek toplam alkali-silis (TAS) diyagramı ve gerekse ayrışma süreçlerinde daha duraylı olan Zr, Nb, Y ve Ti gibi elementlerin dikkate alınarak yapıldığı sınıflamalar anklavların bazaltik andezit bileşimde olduğunu ve sub-alkalin bir magmadan itibaren türediğini göstermektedir (Şekil 5a-b). Diğer yandan ana kayaların ise andezitik kompozisyonda olduğu ve kısmen de olsa alterasyondan etkilendikleri görülmektedir. Bu durum aynı zamanda anklavların taze olduğu ve ayrışmadan pek etkilenmedikleri görüşünü desteklemektedir. K_2O ve SiO_2 içeriklerine göre genel olarak orta-yüksek K'lu kalkalkalin potasik bileşime sahip iken, K_2O ve Na_2O değerleri çoğunlukla sodik kısmen ise potasik bir afiniteye göstermektedir (Şekil 5c-d). Buna karşılık andezitik kompozisyona sahip ana kayaların orta-yüksek K'lu potasik afiniteye sahip bir magmadan itibaren türemiş olabileceğine işaret etmektedir (Şekil 5c-d).

SiO_2 'ye karşı ana element değişim diyagramlarında, gerek anklav gerekse ana kayalar nispeten düzenli dağılım göstermekle birlikte, K_2O 'da pozitif, diğer elementlerde (Al_2O_3 , MgO, CaO, TiO_2 , P_2O_5 ve $Fe_2O_3^*$) ise negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 6). Na_2O ise zayıf negatif bir dağılım sergilemektedir. İz element değişim diyagramlarında ise Sr, Y ve Ce negatif, Ni düzensiz ve zayıf negatif, Rb, Ba ve Zr ise düzensiz zayıf pozitif dağılım göstermektedir (Şekil 6). Bununla birlikte, ana ve iz elementlerin SiO_2 'ye göre değişimi, ana kayaç ve anklavların iki farklı üyeyi temsil ettiğini ve Na_2O , Rb, Ni, Sr, Zr, Ce gibi elementlerde etkileşim gösterdiğini işaret etmektedir.

Tablo 1. Mikrogranüler anklavların ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) içerikleri.

Table 1. Representative major oxide (wt%), trace (ppm) and rare earth (ppm) element composition of the enclaves.

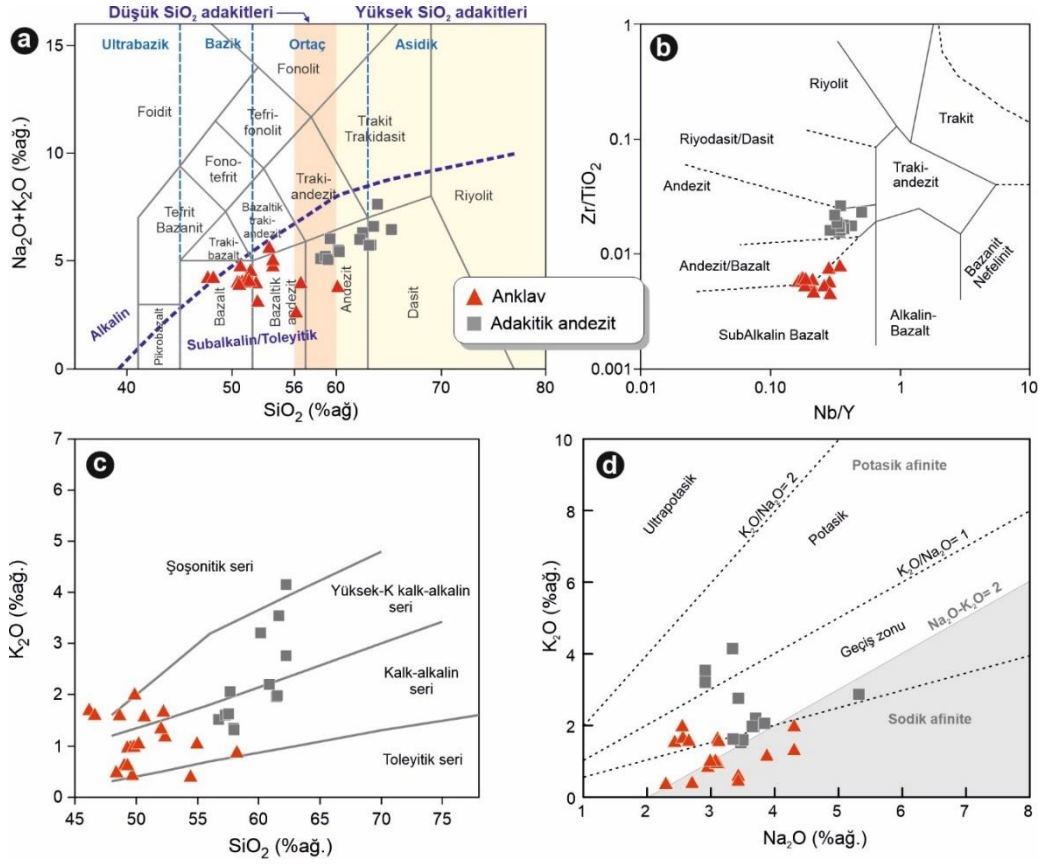
Örnek No	ANK01	ANK02	ANK03	ANK04	ANK05	ANK06	ANK07	ANK08	ANK09	ANK10
SiO ₂	49.57	50.67	46.15	58.21	49.88	54.46	52.23	49.32	49.83	49.68
TiO ₂	0.72	0.73	0.81	0.56	0.74	0.63	0.65	0.74	0.76	0.69
Al ₂ O ₃	18.06	17.32	18.58	16.05	17.59	15.63	18.97	18.26	18.24	15.84
Fe ₂ O ₃ *	9.55	9.96	11.31	6.91	9.97	8.97	7.47	9.93	10.22	9.80
MgO	6.38	6.08	7.12	4.70	5.71	6.16	5.14	6.58	6.88	7.18
CaO	8.92	8.20	8.59	6.75	7.95	8.51	7.83	8.75	8.34	8.42
Na ₂ O	3.12	2.44	2.56	2.96	2.55	2.30	3.11	3.12	3.09	2.71
K ₂ O	0.98	1.58	1.70	0.88	2.01	0.40	1.67	0.97	0.99	0.43
P ₂ O ₅	0.21	0.25	0.25	0.16	0.25	0.24	0.17	0.21	0.21	0.25
MnO	0.18	0.16	0.17	0.11	0.15	0.16	0.13	0.18	0.19	0.20
A.K.	1.67	2.71	1.96	2.18	2.95	2.19	1.92	1.33	1.60	4.57
Toplam	99.35	100.08	99.20	99.47	99.74	99.65	99.26	99.39	100.33	99.76
Li	10.2	11.0	16.9	16.4	9.8	14.2	12.3	10.3	12.6	8.7
Be	1.2	1.3	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Sc	32.1	29.7	31.6	22.5	28.0	32.6	26.1	31.7	34.0	37.9
V	274.9	280.3	327.0	192.7	284.5	253.9	214.1	277.4	288.7	280.5
Co	29.2	28.3	34.9	22.4	27.9	26.2	24.4	29.5	29.7	31.0
Ni	21.6	13.2	14.0	10.1	10.6	18.8	11.9	21.1	18.8	17.9
Cu	33.0	28.8	148.0	54.1	27.4	32.9	42.3	25.1	20.8	33.6
Zn	82.5	79.1	93.4	66.3	81.0	68.7	74.9	84.0	86.0	77.1
Ga	18.9	18.5	20.0	16.7	18.6	15.6	20.4	19.4	19.9	17.4
Rb	32.9	51.2	48.7	24.1	66.3	5.6	42.7	33.3	34.2	7.3
Sr	828.8	898.4	937.3	871.6	971.2	877.0	764.9	817.3	770.4	480.7
Y	17.3	21.7	17.9	14.7	21.0	19.4	14.3	18.0	17.2	18.2
Zr	65.4	71.2	76.2	72.7	75.4	59.5	89.1	65.7	65.7	65.2
Nb	3.3	3.4	3.2	3.9	3.4	2.9	4.6	3.2	3.3	3.0
Sn	0.8	0.9	1.1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Cs	0.9	1.3	2.3	0.6	1.7	0.4	1.4	0.9	1.0	1.2
Ba	394.3	774.6	666.7	506.4	1058.4	212.2	715.7	339.0	302.0	196.0
La	23.0	19.4	16.3	19.2	17.1	23.1	17.7	22.0	20.7	24.3
Ce	42.4	40.9	35.4	34.8	39.6	43.3	34.2	42.0	41.6	47.8
Pr	5.1	5.3	4.6	4.1	5.2	5.2	4.1	5.0	5.2	5.8
Nd	19.7	21.3	20.1	14.9	21.7	21.0	14.6	19.4	19.5	22.6
Sm	4.2	4.8	4.7	3.3	4.8	4.5	3.3	4.1	4.1	4.9
Eu	1.2	1.4	1.4	1.0	1.5	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
Gd	3.5	4.4	4.2	3.0	4.3	3.8	3.0	3.6	3.6	4.1
Tb	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
Dy	3.1	3.6	3.4	2.5	3.7	3.3	2.6	3.1	3.1	3.3
Ho	0.6	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
Er	1.8	2.0	1.8	1.5	2.0	1.9	1.5	1.8	1.8	1.8
Tm	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Yb	1.8	1.9	1.6	1.4	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8	1.8
Lu	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Hf	1.9	2.1	2.2	2.1	2.2	1.7	2.5	1.9	2.0	1.9
Ta	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
Pb	10.5	8.7	16.8	13.4	7.2	11.1	12.8	10.0	9.2	10.6
Th	5.3	5.8	6.2	6.6	6.0	5.2	7.9	5.3	5.6	5.2
U	1.0	1.0	0.7	1.9	1.1	1.0	1.3	0.9	1.0	1.1
Mg#	56.9	54.7	55.5	57.4	53.1	57.6	57.7	56.8	57.1	59.2
Eu/Eu*	0.93	0.91	0.98	0.99	0.99	0.87	1.06	0.95	0.95	0.90
La _N /Yb _N	8.83	6.78	6.80	8.94	6.22	8.53	7.69	8.15	7.94	9.21
CIA	44.6	45.6	46.2	47.0	45.8	44.3	47.3	45.3	46.1	43.9

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeO*)x100. Eu/Eu* = Eu_N / √(Sm_NxGd_N), N= Kondrit değerleri (Boynton, 1984). CIA (Chemical Index of Alteration/Kimyasal Ayrışma İndeksi)= molar[(Al₂O₃)/(Al₂O₃+CaO+NaO+K₂O)]x100.

Tablo 1'in devamı
Table 1. continued.

Örnek	ANK11	ANK12	ANK13	ANK14	ANK15	ANK16	Z21a	Z22a	Z23a
SiO ₂	50.19	46.62	52.35	54.96	52.04	48.66	49.05	49.30	48.40
TiO ₂	0.73	0.78	0.69	0.64	0.84	0.76	0.70	0.70	0.72
Al ₂ O ₃	18.06	18.39	16.79	15.95	16.23	16.50	18.65	18.51	18.54
Fe ₂ O ₃ *	9.92	11.00	9.54	8.76	9.97	10.45	9.13	9.15	9.36
MgO	6.45	7.14	6.13	5.30	7.04	6.87	6.12	5.89	6.53
CaO	8.60	8.53	6.66	7.46	5.47	7.97	7.99	7.99	8.19
Na ₂ O	3.07	2.66	3.88	2.99	4.31	3.13	3.44	3.43	3.43
K ₂ O	1.05	1.61	1.19	1.05	1.35	1.60	0.63	0.63	0.49
P ₂ O ₅	0.21	0.25	0.23	0.26	0.19	0.23	0.17	0.17	0.18
MnO	0.19	0.16	0.15	0.16	0.24	0.15	0.17	0.17	0.18
A.K.	1.27	2.31	2.47	2.43	2.30	3.59	3.60	3.80	3.70
Toplam	99.74	99.44	100.09	99.94	99.97	99.90	99.72	99.73	99.72
Li	10.2	17.8	8.6	8.2	11.8	8.9			
Be	1.2	0.9	1.3	1.3	1.1	1.1	2.0	2.0	2.0
Sc	31.9	29.8	26.6	33.1	34.1	29.2	26.0	26.0	27.0
V	285.1	310.5	247.8	255.8	284.8	295.3	254.0	258.0	265.0
Co	30.0	34.1	33.3	25.7	32.3	40.7	26.5	25.9	26.2
Ni	21.9	12.5	18.3	14.3	17.9	14.7	5.8	6.3	6.6
Cu	26.8	87.7	72.9	20.3	34.7	49.9	63.5	60.3	56.4
Zn	85.6	90.2	90.5	68.7	87.7	106.4	53.0	57.0	57.0
Ga	20.1	19.6	18.8	17.6	17.9	19.0	17.8	17.4	18.6
Rb	35.9	40.1	29.4	39.5	32.3	34.2	13.7	13.5	9.4
Sr	819.2	934.1	589.0	895.7	583.1	656.6	772.1	761.2	739.7
Y	17.6	17.7	17.6	18.1	19.3	17.7	14.9	15.6	15.6
Zr	64.8	75.7	58.3	64.8	60.1	75.7	65.0	59.3	49.5
Nb	3.2	3.5	3.1	3.0	3.9	3.1	4.0	3.8	4.2
Sn	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9
Cs	0.9	1.9	1.0	1.4	1.3	0.9	1.0	1.1	0.9
Ba	396.4	743.7	425.9	257.1	479.4	590.0	207.0	204.0	194.0
La	22.2	17.8	19.8	20.1	14.5	20.6	16.0	16.4	16.3
Ce	42.6	36.9	37.2	44.0	34.1	40.9	35.5	34.0	33.3
Pr	5.2	4.6	4.7	5.6	4.6	5.2	4.4	4.4	4.4
Nd	19.1	19.2	18.1	21.2	18.4	21.4	18.6	17.4	17.7
Sm	4.0	4.4	4.0	4.6	4.2	4.8	3.6	3.4	3.8
Eu	1.2	1.4	1.2	1.3	1.3	1.4	1.1	1.0	1.1
Gd	3.6	4.2	3.7	3.9	3.8	4.3	3.3	3.2	3.5
Tb	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Dy	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4	3.3	2.9	2.7	2.8
Ho	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
Er	1.8	1.8	1.7	1.7	1.9	1.7	1.7	1.6	1.7
Tm	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Yb	1.8	1.6	1.8	1.7	1.9	1.6	1.7	1.8	1.8
Lu	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Hf	1.9	2.2	1.9	1.9	1.9	2.1	1.9	1.8	1.7
Ta	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2
Pb	10.4	20.2	11.5	5.8	6.9	11.4	8.5	8.6	8.7
Th	5.1	6.0	4.9	5.8	3.8	6.1	3.3	3.1	3.2
U	0.8	0.7	0.6	1.2	0.3	1.2	1.1	1.1	1.1
Mg#	56.3	56.2	56.0	54.5	58.3	56.6	57.0	56.0	58.0
Eu/Eu*	0.97	0.99	0.97	0.92	0.98	0.94	0.98	0.96	0.93
LaN/YbN	8.55	7.46	7.64	7.96	5.11	8.83	6.38	6.14	6.04
CIA	45.3	46.0	45.9	44.8	46.7	43.6	47.2	47.0	46.8

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeO*)x100. Eu/Eu* = Eu_N / √(Sm_NxGd_N), N= Kondrit değerleri (Boynton, 1984). CIA (Chemical Index of Alteration/Kimyasal Ayrışma İndeksi)= molar[(Al₂O₃)/(Al₂O₃+CaO+NaO+K₂O)]x100.

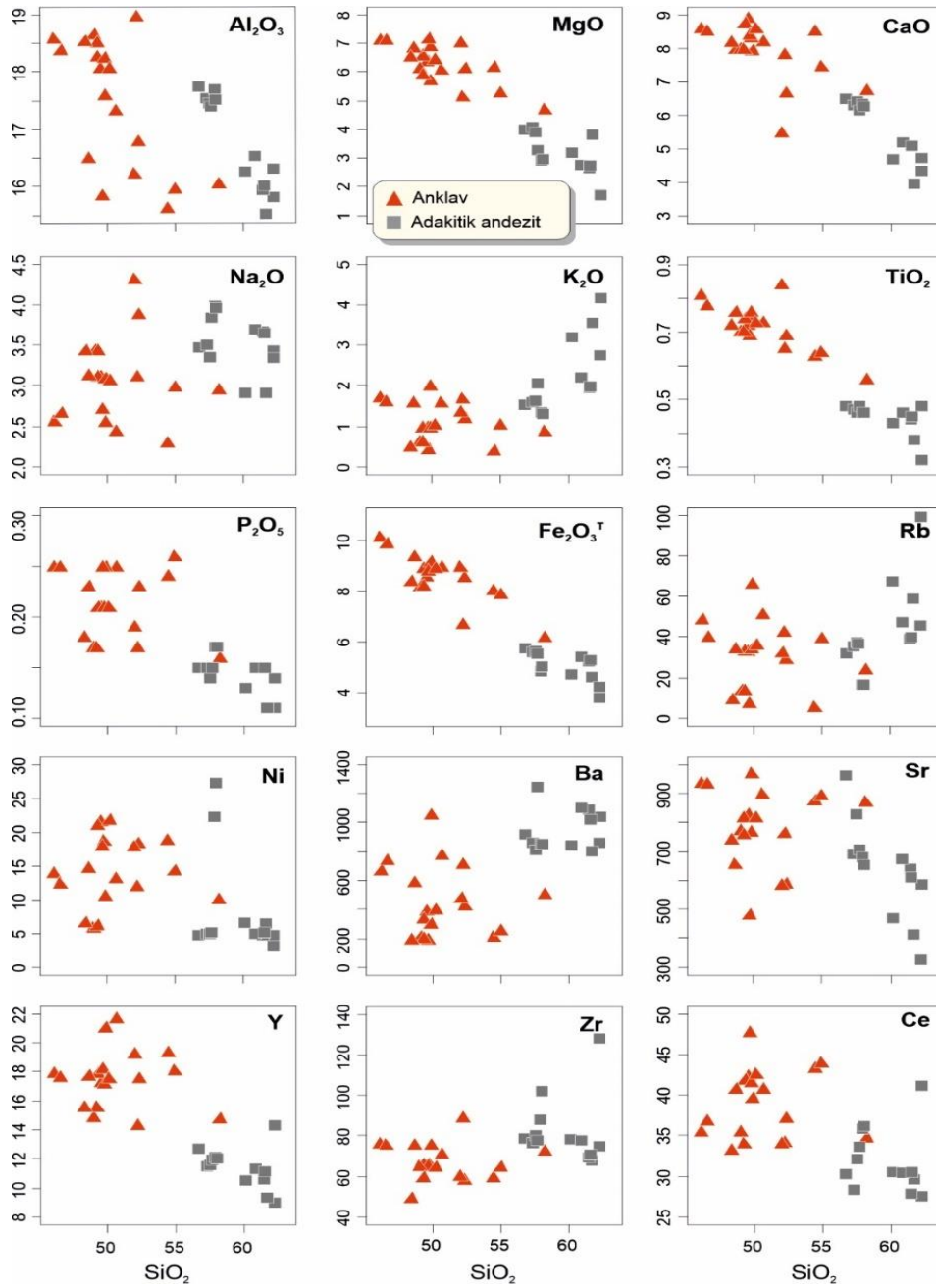


Şekil 5. (a) Toplam alkali-silika (TAS) diyagramı (Le Bas vd., 1986). Alkalın-subalkalin ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göredir. **(b)** Zr/TiO_2 - Nb/Y diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977). **(c)** K_2O - SiO_2 (Peccerillo ve Taylor, 1976) ve **(d)** K_2O - Na_2O (LeMaitre, 2002) diyagramları. Ana kayaların (adakitik andezitlerin) verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

Figure 5. (a) Total alkali-silica (TAS) diagram (Le Bas et al., 1986). The line between alkaline and subalkaline series is according to Irvine and Baragar (1971). **(b)** Zr/TiO_2 vs Nb/Y diagram of Winchester and Floyd (1977). **(c)** K_2O vs SiO_2 diagram of Peccerillo and Taylor, 1976 and **(d)** K_2O vs Na_2O diagram of (LeMaitre, 2002). Data for the host rocks (adakitic andesites) are taken from Gücer (2021).

İlksel mantoya normalize edilmiş diyagrama göre (Şekil 7a), Cs, Rb, Ba, Th, K ve Sr gibi büyük iyon yarıçaplı litofil elementleri (LILE'ler), yüksek çekim alanlı elementlere (HFSE'ler) oranla önemli ölçüde zenginleşmiştir. Rb, Nb, P, Zr ve Ti genellikle negatif, Pb ise güçlü pozitif

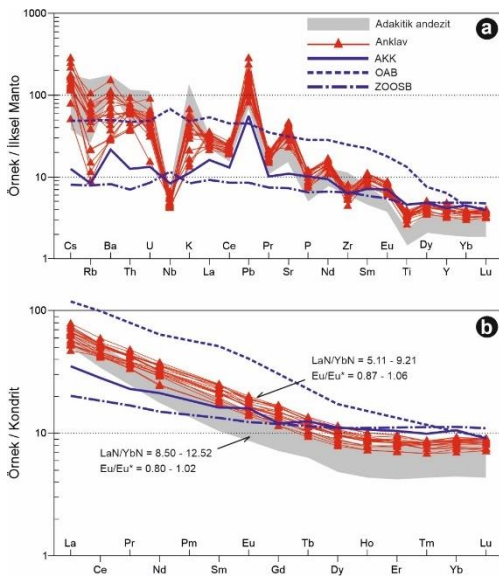
anomali sergilemektedir. İz element modellerinin, andezitik ana kayaç ile oldukça uyumlu bir dağılım sergilediği gözlenmiş olup iki farklı magmanın karışımı esnasında etkileşim süreçleri geçirmiş olabileceğini desteklemektedir.



Şekil 6. Anklav ve andezitik ana kayaların (Gücer, 2021) SiO_2 (%)'e karşı ana oksit (%) ve iz element (ppm) değişim (Harker) diyagramları.

Figure 6. Major oxide (%) and trace element (ppm) variation (Harker) diagrams versus SiO_2 (%) of enclaves and andesitic host rocks (Gücer, 2021).

Benzer şekilde, kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (REE) desenlerinde (Şekil 7b), gerek anklav gerekse andezitik ana kayalar uyumlu olarak dağılmakta olup hafif nadir toprak elementler (LREE'ler) hafif sağa eğimli, ağır nadir toprak elementler (HREE'ler) ise düz desenler sergilemektedir (anklav $La_N/Yb_N = 5.11-9.21$; ana kayaç $La_N/Yb_N = 8.50-12.52$).



Şekil 7. Anklav ve ana kayaların (Gücer, 2021) **(a)** ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) ve **(b)** Kondrite (Boynton, 1984) göre normalleştirilmiş iz element dağılım diyagramları. AKK: Alt kıtasal kabuk (Taylor ve McLennan, 1995), OAB: Okyanus adası bazaltı (Sun ve McDonough, 1989), ZOOSB: Zenginleştirilmiş okyanus ortası sırtı bazaltı (Sun ve McDonough, 1989).

Figure 7. Spider diagrams of the enclaves and andesitic host rocks (Gücer, 2021) **(a)** Primitive Mantle (Sun and McDonough, 1989) and **(b)** Chondrite (Boynton, 1984). Lower continental crust: Taylor and McLennan (1995), Oceanic island basalt: Sun and McDonough (1989), Enriched mid-ocean ridge basalt: Sun and McDonough, 1989.

Buna ilaveten, anklav örneklerinin REE değerleri ana kayaca oranla nispeten daha fazla zenginleşmiştir. Bununla birlikte, hem anklav hem de ana kayalar tipik olarak Eu anomalileri göstermemeleri (anklav $Eu/Eu^* = 0.87-1.06$; ana kayaç $Eu/Eu^* = 0.80-1.02$; Şekil 7b) ile karakterize edilmekte olup bu durum örneklerin gelişiminde plajiyoklas ayırılmasının etkili olmadığını işaret etmektedir.

TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar volkanik kayaların farklı tektonik ortamlarda ve farklı kaynaklardan itibaren türeyebileceğini göstermektedir. Bunların ayırt edilebilmesi ise kayaların petrokimyasal ve petrolojik özelliklerinin ortaya konması ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle gerek ana kayalar gerekse içerisine aldıkları anklavların oluşum ortamları, kaynak alanları ve gelişim süreçleri bu açıdan irdelenmiştir.

Anklavların Kökeni

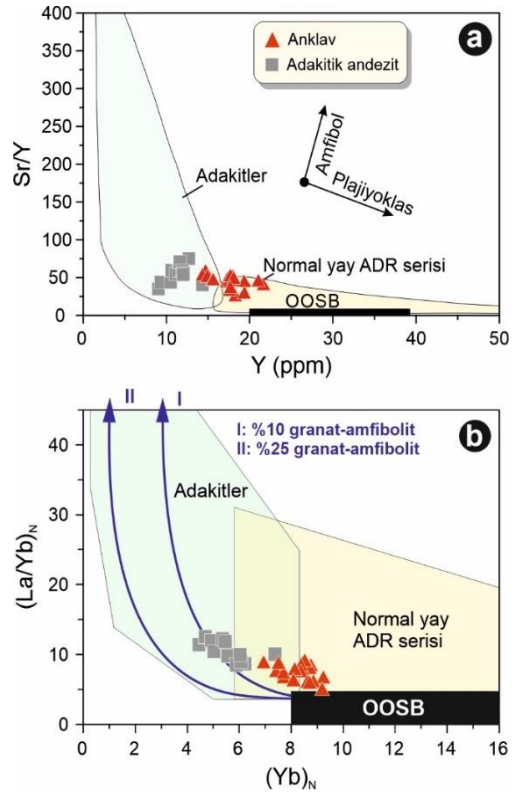
Anklavların, magmatik ve magmatik olmayan kökenleri hakkında, ilk tanımından günümüze uzanan bir tartışma süregelmektedir. Çalışma kapsamında incelenen anklavların magmatik dokular sergilemesi (bkz. Şekil 4) magmatik kökene sahip olduklarının bir göstergesidir. Ayrıca, anklavların tipik kontakt metamorfizma ve/veya kalıntı tortul (sedimenter fabrik) dokusu göstermemeleri bunların ksenolit veya restit olma olasılığını ortadan kaldırmaktadır (Maas vd., 1997; White vd., 1999). Çünkü, restit (mikamsı) anklavlar tipik metamorfik dokuları, mika ve Al bakımından zengin granat ve sillimanit gibi mineralleri ile tanımlanmakta ve baskın olarak S tipi granitoidler içerisinde yer almaktadır (Kaygusuz ve Güloğlu, 2022). Bununla birlikte, incelenen anklavların kümülat dokusu göstermemeleri bunların kümülat anklav (otolit) olamayacağını da işaret etmektedir (Barbarin, 2005). Petrografik

gözlemler ve jeokimyasal özellikler (ana ve iz elementler arasındaki güçlü korelasyonlar), magma odasında felsik ve mafik magmaların karışması esnasında etkileşim (interaction) süreçlerini dolayısıyla magma karışımının (magma mixing/mingling) bir göstergesidir. Dolayısıyla, incelenen anklavlar, magma odasındaki ana kayacın mafik ebeveyn magmasının karışım süreçleri sırasında küçük kütlelerin ürünlerini temsil edebilir.

Kaynak Kayaç Karakteristikleri

Andezitik kompozisyona sahip ana kayalar orta ila yüksek K'lu kalk-alkalin bir magmatizma ile karakterize edilirken, anklavlar nispeten düşük K'lu kalk-alkalin magmatik özellik göstermektedir (bkz. Şekil 5). Dolayısıyla, andezitik ana kayalar potasik benzeri bir bileşime sahip iken, anklavlar potasik-sodik geçişli bir bileşim sergilemektedir. İlkel manto ve kondrite normalize edilmiş modellerde (bkz. Şekil 7), önemli Eu anomalileri göstermeksizin, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE'ler) ve hafif nadir toprak elementler (LREE'ler) bakımından önemli zenginleşmeler görülmektedir. Tüm bu işaretler yitim bölgesi ortamında oluşan kayalarla tutarlılık göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995). Bununla birlikte, gerek ana kayalar gerekse anklavlar normal yay andezitleri ve dasitlerinden biraz daha negatif Nb ve Ti anomalileri, daha yüksek Sr/Y (26.36-59.10) ve La_N/Yb_N (5.11-9.21) oranları, daha düşük Y ve Yb_N içerikleri sergilemektedir (Şekil 8).

Tüm bu jeokimyasal izler anklavların, mantodan türemiş ve fraksiyonlaşmış kayalardan ziyade, yiten okyanus levhasından veya alt kıtasal kabuktan gelen bazaltların kısmi erimesiyle, andezitik ana kayaların ise aynı ortamdan fraksiyonlaşmış adakitik kayalarınkilerle tutarlı olduğunu göstermektedir (Defant ve Drummond, 1990;



Şekil 8. Adakit ve normal yay ADR (andezit, dasit ve sodik riyolit) serisi ayırtman diyagramı. **(a)** Sr/Y - Y ve **(b)** $(La/Yb)_N$ - $(Yb)_N$ diyagramları (Defant ve Drummond, 1990). Adakit, normal yay ADR serisi ve OOSB alanları Martin (1999), kondrit değerleri Taylor ve McLennan (1985) ve ana kayaların (adakitik andezitlerin) verileri Gücer (2021)'den alınmıştır. Her bir kısmi ergime eğrisi farklı bir OOSB kaynak alanını temsil etmektedir.

Figure 8. Adakite and normal arc ADRs (andesites, dacites, and sodic rhyolites) discrimination diagrams. **(a)** Sr/Y vs Y and **(b)** $(La/Yb)_N$ vs $(Yb)_N$ diagrams (Defant and Drummond, 1990). Fields of adakites, normal arc ADR series and MORB are from Martin (1999). Chondrite values are from Taylor and McLennan (1985). Each partial melting curves refer to a different MORB source. Data for the host rocks (adakitic andesites) are taken from Gücer (2021).

Stern ve Kilian, 1996; Martin vd., 2005; Castillo, 2006).

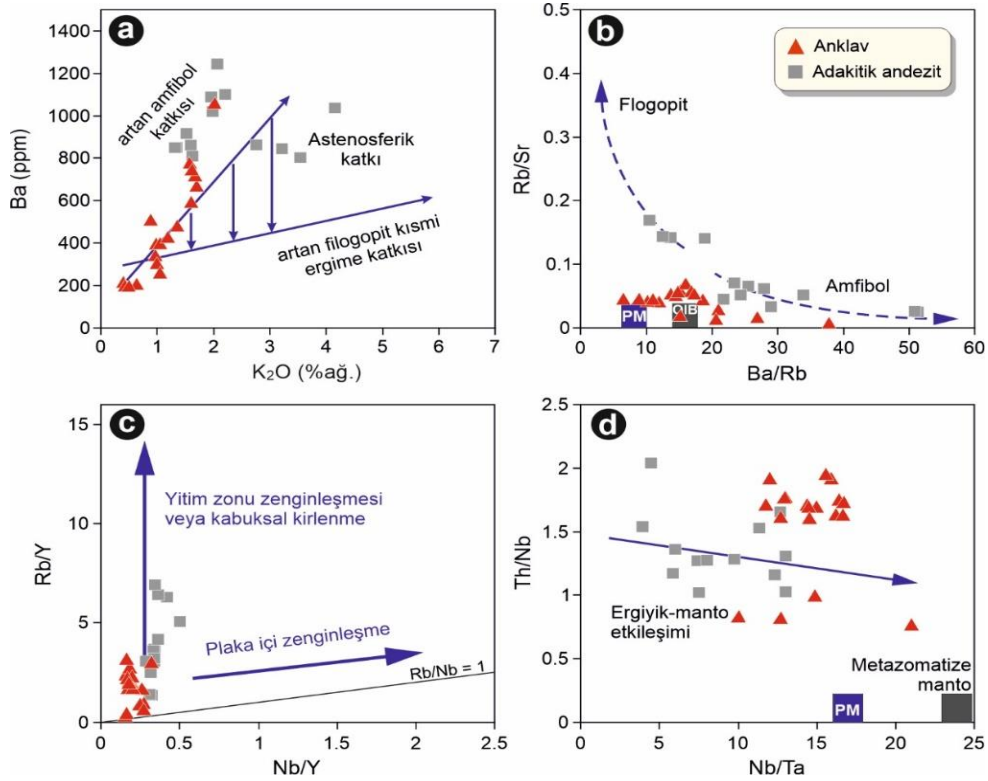
Ana kayacın ve anklavların LILE bakımından zenginleşmiş, HFSE ve TiO_2 içerikleri bakımından ise tüketilmiş olmaları, ayrıca litosferik mantodaki yitim zonu metazomatizmasıyla da ilişkilidir. Yitim sırasında yiten plakanın yüksek çekim alanlı elementleri tutması, bu metazomatizmayla açıklanırken, LILE ve LREE yiten plaka boyunca manto kamasını zenginleştiren akışkan ve ergiyikler vasıtasıyla yukarı yönde hareket eder (Münker vd., 2004) veya yiten sedimanlar yardımıyla manto kaynak alanına geçerler (Conticelli ve Peccerillo, 1992; Hawkesworth vd., 1993). Bu nedenle andezitlerin LILE ve LREE içeriklerinde gözlenen bu zenginleşme, kaynak alanda yitim zenginleşmesinin bir sonucu olarak yorumlanabilir (Pearce ve Peate, 1995).

Anklavların Ba içerikleri tek örnek (ANK05: 1058 ppm) dışında 194-775 ppm arasında iken, adakitik ana kayaçlar anklavlara kıyasla yüksek Ba içerikleri (802-1244 ppm; Gücer, 2021) sergilemektedir. Bu durum felsik ve mafik karakterli farklı magma kökenlerini işaret etmekle birlikte, gerek anklav gerekse ana kayaçların kaynak alanında flogopit yerine amfibol katkısını da göstermektedir (Şekil 9a). Anklavların düşük Rb ve Ba içerikleri ve ilksel mantodan okyanus adası bazaltı bileşimine doğru dağılım sergilemesi, bu kayaçların ilksel mantodan itibaren farklılaşarak geliştiğini göstermekte iken, adakitik ana kayaçlardaki Rb elementinin tüketilmesi, yiten levha kaynağında amfibolün varlığını ve manto kamasının yükselen adakit magma ile çok az etkileşime girdiğini göstermektedir (Rogers vd., 1985; Calmus vd., 2003; Şekil 9b). Anklav'lar genel olarak düşük Ba/Rb (6.50–37.83) ve Rb/Sr (0.01-0.07) oranları ile karakterize iken,

andezitik ana kayaçlar yüksek Ba/Rb (10.46–51.33) ve düşük Rb/Sr (0.02–0.17) oranlarıyla (Gücer, 2021) karakterize edilir. Bu durum anklavların ilksel mantodan itibaren gelişen, andezitik ana kayaçların ise kaynaktaki amfibol içeren özelliği ile uyumludur (Şekil 9b). Sonuç olarak, amfibol ile ergiyik dengesinde Rb/Sr oranının düşük (<0.1), Ba/Rb oranını ise yüksek (>20) olması beklenirken, flogopit ile ergiyik dengesi yüksek Rb/Sr (>0.1) ve düşük Ba/Rb (<20) oranları ile karakterize edilmektedir (Furman ve Graham, 1999). İncelenen örneklerin eriyiğinin oluşumu sırasında, Şekil 9'da görüldüğü üzere, manto kaynağının büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) içerikleri ağırlıklı olarak flogopitten ziyade amfibol tarafından kontrol edilmiştir.

Levha ergiyikleri tarafından metasomatize edilen manto kaması türevli magmaların Nb içerikleri genellikle 7 ppm'den yüksektir (Defant vd., 1992; Maury vd., 1996; Martin vd., 2005). Nb içerikleri gerek anklavlarda (2.9-4.6 ppm) gerekse andezitik ana kayaçlarda (3.4-4.9 ppm; Gücer, 2021) manto türevli magmalara göre daha düşüktür. Bu değerler, incelenen örneklerin okyanusal levhanın bazik kayaçlarına benzeyen, manto kamasından daha düşük Nb içeriğine sahip bir kaynaktan türetilmiş olabileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 9c). Diğer yandan, Th/Nb'nin artan Nb/Ta ile negatif ilişkisi (Şekil 9d), yitim bileşenleri tarafından farklı derecelerde modifiye edilmiş metasomatize bir manto kamasının etkileşimiyle uyumludur (Dokuz vd., 2013).

Bu, litosferik mantonun levha türevli akışkanlardan daha yüksek Nb içeriğine sahip olması nedeniyle ergiyik-manto etkileşimini işaret etmekte olup örneklerin negatif bir korelasyon göstermesine sebebiyet vermektedir (Dokuz vd., 2013).



Şekil 9. (a) Ba (ppm) - K_2O (%ağ.) ve (b) Rb/Sr - Ba/Rb diyagramları. (c) Rb/Y - Nb/Y (vektör yönleri yitim zonu bileşenlerinin katkısını gösterir) ve (d) Th/Nb - Nb/Ta diyagramları. OIB: Okyanus adası bazaltı, PM: İlksel manto. Ana kayaların (adakitik andezitlerin) verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.

Figure 9. (a) Ba (ppm) vs K_2O (wt%) and (b) Rb/Sr vs Ba/Rb diagrams. (c) Rb/Y vs Nb/Y and (d) Th/Nb vs Nb/Ta diagrams. OIB: Oceanic-island basalt, PM: Primitive mantle. Data for the host rocks (adakitik andesites) are taken from Gücer (2021).

Magma Karışımı

Magma karışımı olayı, birbirinden farklı mafik ve felsik bileşimdeki magmaların fiziksel ve kimyasal olarak karışımı şeklinde ifade edilmektedir. Eş yaşlı mafik ve felsik magmaların, kendi fiziksel ve kimyasal özelliklerini koruyarak heterojen bir şekilde karışmalarına magma mingling; aksi durumda fiziksel ve kimyasal özelliklerini koruyamayarak homojen bir şekilde karışmalarına ise magma mixing olarak tanımlanmaktadır. Magmaların viskozitesi, karışımının homojen veya heterojen olarak gelişmesindeki en önemli

faktörü oluşturmaktadır (Didier ve Barbarin, 1991).

Çalışma konusu anklavların andezitik ana kayalarının magmalarında homojen karışımının etkin olduğu görülmektedir (Gücer vd., 2017). Eş yaşlı mafik ve felsik magmalar arasında meydana gelen mekanik etkileşimin derinliğinin, bazı magma karışımı oluşuklarının görülebilmesi açısından önemli olduğu bilinmektedir (Barbarin ve Didier, 1992). Anklavları barındıran andezitik ana kayaların kalsik amfibol jeotermobarometri denklemleri kullanılarak yapılan hesaplamalarında 790 ± 20

°C sıcaklık ve 2.5-4 kbar P ($f_{O_2} / \Delta NNO = 14.4$ ile -11.1) basınç koşullarında ve kıtasal kabukta 9-15 km derinliklerde kristallendiği bilinmektedir (Gücer vd., 2017). Bu değerler karışmış andezitik ana magmanın orta derinlikte kıtasal kabukta yerleşmiş olduğunu vurgulamaktadır. Homojen karışım birbirleriyle dengede olmayan mineral toplulukları, minerallerde gözlenen karmaşık zonlanma gibi özel dokusal özelliklerle ifade edilmektedir. Andezitik ana kayalar için ana magmada magma karışımını işaret en önemli veriler, ana kayalar içerisinde gözlenen dengesizlik dokuları olup bunlar; elek dokulu, zonlu ve salınımlı zonlanma gibi dengesizlik dokuları gösteren plajiyoklaslar, iri plajiyoklas mineralleri üzerinde daha küçük plajiyoklas latalarının bulunması, bıçağımsı hornblendler, plajiyoklas, ortoklas ve mafik mineraller üzerinde daha küçük minerallerin oluşturmuş oldukları poiklitik dokulardır (Gücer vd., 2017; Gücer, 2021).

Heterojen magma karışımı olarak söz edilen magma mingling süreçleri, çalışma alanında ana kayaların içerisindeki anklavların varlığı ile temsil edilmektedir. Gerek dokusal gerekse mineralojik açıdan anklav ve ana kayacın dokusal özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir (bkz. Şekil 3-4). Anklavlar ana kayaya kıyasla daha ince taneli görünüm sunmakta ve başlıca plajiyoklas, hornblend, opak mineral ve az oranda ortoklas ve klinopiroksen minerallerinden meydana gelmektedir. Hamur büyük oranda kristallerden oluşmakta ve daha az miktarda volkan camı içermektedir. Dolayısıyla çalışma konusu kayalarda gözlenen anklav ve karışım dokularının izleri gerek petrografik gerekse jeokimyasal olarak izlenebilmektedir.

Fraksiyonel Kristallenme ve Asimilasyon Süreçleri

Fraksiyonel kristallenme süreçleri ana ve iz elementlerin çeşitli korelasyonları ile ortaya konabilmekte olup SiO_2 özellikle ortaç ve felsik kayalarda en geniş değişime sahip olduğu için yaygın olarak kullanılan ana oksittir. SiO_2 'ye karşı ana ve iz element dağılımları, anklavların ve ana kayalarının magmalarının karışması esnasındaki etkileşim süreçlerini işaret etmektedir. Bununla birlikte, CaO , Al_2O_3 , $Fe_2O_3^*$ azalması önemli ölçüde plajiyoklas ve piroksen farklılaşmasının, Al_2O_3 azalması ise aynı zamanda hornblend ayrışmasının da etkili olabileceğinin bir göstergesidir (Cawthorn ve O'Hara, 1976). $Fe_2O_3^*$ ve TiO_2 azalmasının magnetit ayrışması, P_2O_5 'deki yönsemenin ise apatitin kristallenmesi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Tüm bu değişimler hem anklav hem de andezitik ana kayaların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve plajiyoklas, piroksen, hornblend, magnetit ve apatit ayrışmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte, ilksel mantoya normalize edilmiş diyagramlarda gözlenen zenginleşmeler (bkz. Şekil 7) kaynak bölgesinde düşük dereceli bir kısmi ergime veya kaynağa yitim katkısı gibi kabuksal bileşenlerin etkisini de göstermektedir.

Rb, Nb, P, Zr ve Ti gibi elementler gözlenen negatif ve Pb elementinde gözlenen güçlü pozitif anomali adayları bazaltlarına olan benzerliği göstermektedir. Genellikle ana magmanın gelişiminde yitim bileşenlerinin etkili olduğunu işaret eden bu değişimler, yiten eklojit kabuğun üst kısımlarının kısmi ergimeye uğraması sırasında bu elementlerin rutil, sfen ve perovskit tarafından tutulmasına bağlı

olabilir. HREE'ler özellikle amfibol mineralinin bünyesine girdiğinden (Gill, 1981; Romick vd., 1992; Thirlwall vd., 1994) elementlerde gözlenen bu içbükey dağılım (bkz. Şekil 7) ise kayaçların gelişiminde hornblend fraksiyonlaşmasının (Fujimaki vd., 1984) önemini vurgulamaktadır. Mineralojik olarak gerek anklav gerekse ana kayaçlarda hornblend mineralinin bol miktarda gözlenmesi bu durumu destekler niteliktedir.

Anklav örnekleri düşük FeO^*/MgO ve düşük SiO_2 (%ağ.) içeriklerine sahip iken, andezitik ana kayaçlar nispeten yüksek değerler göstermektedir (Şekil 10a). Anklavlar artan SiO_2 (%ağ.) yönüne doğru yataya yakın lineer bir dağılım sergilemekte olup manto ergiyiği/reaksiyonu yönünde yönsemeye sahiptir. Buna karşılık andezitik ana kayaçlar düşükten yüksek FeO^*/MgO ve yüksek SiO_2 (%ağ.) fraksiyonel kristalleşme yönüne doğru bir eğilim göstermektedir (Şekil 10a). Benzer şekilde, V (ppm) değerlerine karşın TiO_2 (%ağ.) değerlerinde gözlenen pozitif eğilimi (Şekil 10b) amfibol fraksiyonlaşmasının magma gelişimi sırasında etkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, kondrite normalize edilmiş nadir toprak element diyagramında (bkz. Şekil 7b) ağır nadir toprak element modellerinin tipik olarak düze yakın dağılması tarafından da desteklenmekte olup gerek anklav gerekse ana kayaçların oluşumu esnasında hornblend fraksiyonlaşmasının rolünü vurgulamaktadır (Gill, 1981). Bir başka dikkat çekici özellik de, hem anklav hem de ana kayaçların gelişiminde plajiyoklas fraksiyonlaşmasının baskın olmadığı veya önemsiz olduğunu ima eden önemli Eu anomalilerinin olmamasıdır.

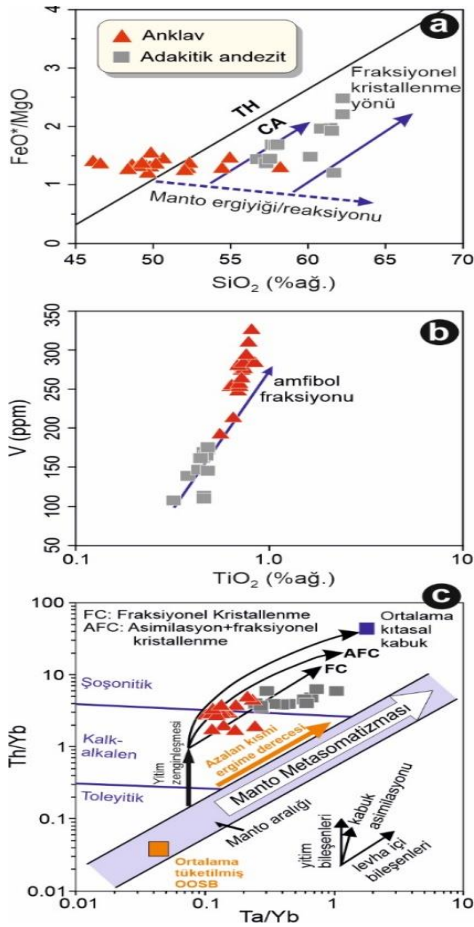
Örneklerde Th/Yb ve Ta/Yb oranları, kaynak alanı ve bu kayaçların gelişiminde kabuk kirlenmesinin etkisinin yorumlanmasına imkan sağlamaktadır (Pearce, 1983; Pearce vd., 1990). Gerek anklav gerekse andezitik ana kayaçlar yüksek Th/Yb oranlarına sahiptir.

Anklav örneklerinde yitim zenginleşmesinden fraksiyonel kristallenme-asimilasyon yönünde bir dağılım görülürken, ana kayaçlarda fraksiyonel kristallenme süreçleri daha baskın gözlenmektedir (Şekil 10c). Ayrıca, manto aralığına paralel veya yarı paralel değişimler fraksiyonel kristallenme ve asimilasyonla beraber gelişen fraksiyonel kristallenmeyi işaret etmektedir. Nitekim, tüm örneklerin manto çizgisinden sapması, örneklerin yitim etkisiyle zenginleşmiş mantodan türemiş veya yükselimi sırasında kabuk tarafından kirlenmiş magmalardan itibaren oluştuğunu işaret etmektedir. Gözlenen bu sapma kaynak bölgesinde yitimle ilgili bir metasomatizma ile açıklanabileceği gibi, manto türevli ergiyiklere önemli ölçüde kabuksal ergiyik katılımına da işaret edebilir.

SONUÇLAR

Altınpınar (Torul, Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme veren Erken Eosen adakitik andezitler içerisindeki anklavların mineralojik, petrografik ve jeokimyasal verileri ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Anklavlar Erken Eosen yaşlı Altınpınar adakitik andezitleri içerisinde gözlenmekte olup oluşumu itibarıyla Gümüşhane ve çevresinde yayılım gösteren Erken Eosen adakitik bileşimli kayaçlar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.
- Küreselden elipsoidal kadar farklı şekillerde ve birkaç cm ile 20 cm arasında değişen boyutlarda gözlenmekte, mineralojik olarak başlıca plajiyoklas, hornblend, opak mineral ve az oranda ortoklas, aksesuar oranda klinopiroksen ve kuvars minerallerinden meydana gelmektedir.
- Gerek petrografik gerekse jeokimyasal olarak bazaltik andezit bileşimde ve sub-alkalin bir magmadan itibaren türemiş, Ana ve iz element değişimleri hem anklav hem de



Şekil 10. (a) FeO*/MgO - SiO₂ (%ağ.) diyagramı. Toleyitik ve kalk-alkalin ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'e göredir. FeO* = 0.899Fe₂O₃. TH: Toleyitik, CA: Kalk-alkalin. **(b)** V (ppm) - TiO₂ (%ağ.) diyagramı. **(c)** Th/Yb-Ta/Yb diyagramı (Pearce, 1983; Pearce vd., 1990). Ana kayaçların (adakitik andezitlerin) verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.

Figure 10. (a) FeO*/MgO vs SiO₂ (wt%) diagram. The tholeiitic and calc-alkaline line is according to Irvine and Baragar (1971). FeO* = 0.899Fe₂O₃. TH: Tholeiitic, CA: Calc-alkaline. **(b)** V (ppm) vs TiO₂ (wt%) diagram. **(c)** Th/Yb vs Ta/Yb diagram (Pearce, 1983; Pearce et al., 1990). Data for the host rocks (adakitik andesites) are taken from Gücer (2021).

andezitik ana kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve plajiyoklas, piroksen, hornblend, magnetit ve apatit ayrımlaşmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermiştir.

- Anklav ile ana kayaçlarının benzer iz element davranışları farklı magmaların karışması esnasındaki etkileşim (interaction) süreçlerini işaret etmektedir. Nadir toprak element dağılımları ise gerek anklav gerekse ana kayaçlarda hornblend fraksiyonlaşmasının önemli rol oynadığını, belirgin Eu anomalisi göstermemeleri (anklav: Eu/Eu* = 0.87–1.06; ana kayaç: Eu/Eu* = 0.80–1.02) örneklerin gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşmasının etkili olmadığını veya çok az etkili olduğunu işaret etmiştir.

- Yüksek Sr/Y (26.36-59.10) ve La_N/Yb_N (5.11-9.21) oranları ve daha düşük Y ve Yb_N içerikleri anklavların, mantodan türemiş ve fraksiyonlaşmış kayaçlarından ziyade, yitim okyanus levhasından veya alt kıtasal kabuktan gelen bazaltların kısmi erimesiyle, andezitik ana kayaçların ise aynı ortamdan fraksiyonlaşmış adakitik kayaçlarınkilerle tutarlı olduğunu göstermektedir.

- Kayaçların ana eriyiğinin oluşumu sırasında, manto kaynağının büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) içerikleri ağırlıklı olarak flogopitten ziyade amfibol tarafından kontrol edilmiş olduğu belirlenmiştir. Tüm örneklerde Th/Nb'nin artan Nb/Ta ile negatif korelasyonu, yitim bileşenleri tarafından farklı derecelerde modifiye edilmiş metasomatize bir manto kamasının etkileşimiyle uyumludur.

- Yapılan çalışmalar andezitik ana kayaçların magmasının orta derinlikte kıtasal kabukta (9-15 km) yerleşmiş olduğunu göstermekte olup homojen ve heterojen magma karışımları gerek petrografik gerekse jeokimyasal olarak izlenebilmektedir.

- Ana ve iz element değişimleri anklavları içeren ana kayaların fraksiyonel kristallenme ile ayırdığı ve magma gelişimi sırasında hornblend fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynadığına desteklemektedir.
- Petrokimyasal veriler gerek anklavların gerekse ana kayacının ana magmasının, kuzey Neotetis Okyanusu'nun tamamen kapanmasından hemen sonra; genişlemeli tektonik rejimin başlangıç aşamalarında, amfibol-eklojit fasiyesi koşullarında okyanusal bazaltların kısmi erimesi ile üretildiğini göstermektedir.

KATKI BELİRTME

İkinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilen bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından maddi olarak desteklenmiştir (proje no: 22.F5114.02.01). Projeye verdiği destekten ötürü GÜBAP'a şükranlarımızı sunarız. Saha çalışmalarındaki yardımları için Kadir SÜNNETÇİ ve Hasan SİNAR'a teşekkür ederiz. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamalarındaki değerli katkı ve yorumlarından dolayı baş editör Prof. Dr. Elif VAROL MURATÇAY ve hakemler Prof. Dr. Orhan KARSLI ve Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN'e şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

- Alpaslan, M., 2001. Volkanik kayalarda magma karışım dokuları ve mekanizmaları, D. Boztuğ ve N. Otlu (editörler), Magmatik Petrojenez, TÜBİTAK Lisansüstü Yaz Okulu, Akçakoca, s. 244-262.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D., and Şen, C., 2013. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in

extension-induced origin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 113–142. DOI: 10.1007/s00410-013-0868-3

- Arslan, M., Temizel, İ., Ackerman, L., Yücel, C., and Abdioğlu Yazar, E., 2022. Highly siderophile element and Os isotope systematics of the Cenozoic volcanic rocks from the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints on the origin and evolution of subcontinental mantle-derived magmas. *Lithos*, 410–411, 106575. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106575

- Aydıncakır, E., 2016. Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 28 (4), 379-411. DOI: 10.1080/09853111.2016.1208526

- Aydıncakır, E., Yücel, C., Ruffet, G., Gücer, M.A., Akaryalı, E., and Kaygusuz, A., 2022. Petrogenesis of post-collisional Middle Eocene volcanism in the Eastern Pontides (NE, Turkey): Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd-Pb isotopes, zircon U-Pb and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology. *Geochemistry*, 82 (2), 125871. DOI: 10.1016/j.chemer.2022.125871

- Aydin, F., 2014. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Maçka Subvolcanic Intrusions: Implications for the late Cretaceous Magmatic and Geodynamic Evolution of the Eastern Part of the Sakarya Zone, Northeastern Turkey. *International Geology Review*, 56 (10), 1246-1275. DOI: 10.1080/00206814.2014.933364

- Aydin, F., Oğuz Saka, S., Şen, C., Dokuz, A., Aiglsperger, T., Uysal, İ., Kandemir, R., Karlı, O., Sarı, B., and Başer, R., 2020. Temporal, geochemical and geodynamic evolution of the Late Cretaceous subduction zone volcanism in the eastern

- Sakarya Zone, NE Turkey: Implications for mantle-crust interaction in an arc setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 192, 104217. DOI: 10.1016/j.jseaes.2019.104217
- Barbarin, B., 2005. Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: Nature, origin, and relations with the hosts. *Lithos*, 80, 155-177. DOI: 10.1016/j.lithos.2004.05.010
- Barbarin, B., and Didier, J., 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 83(1-2), 145-153. DOI: 10.1017/S0263593300007835
- Blake, S., and Fink, J.H., 2000. On the deformation and freezing of enclaves during magma mixing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 95, 1-8. DOI: 10.1016/S0377-0273(99)00129-8
- Boynnton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements; Meteorite Studies. In: *Rare Earth Element Geochemistry*. P. Henderson (eds), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 63-114. DOI: 10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3
- Calmus, T., Aguilon-Robles, A., Maury, R.C., Bellon, H., Benoit, M., Cotten, J., Bourgois, J., and Michaud, F., 2003. Spatial and temporal evolution of basalts and magnesian andesites (bbajaitesQ) from Baja California, Mexico: the role of slab melts. *Lithos*, 66, 77-105. DOI: 10.1016/S0024-4937(02)00214-1
- Castillo, P.R., 2006. An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, 51 (3), 257-268. DOI: 10.1007/s11434-006-0257-7
- Cawthorn, R.G., and O'Hara, M.J., 1976. Amphibole fractionation in calcalkaline magma genesis. *American Journal of Science*, 276, 309-329. DOI: 10.2475/ajs.276.3.309
- Channel, J.E.T., Tüysüz, O., Bektaş, O., and Şengör, A.M.C., 1996. Jurassic-Cretaceous paleomagnetism and paleogeography of the Pontides (Turkey). *Tectonics*, 15, 201-212. DOI: 10.1029/95TC02290
- Conticelli, S., and Peccerillo, A., 1992. Petrology and geochemistry of potassic and ultrapotassic volcanism in central Italy: petrogenesis and inferences on the evolution of the mantle sources. *Lithos*, 28, 3-6, 221-240. DOI: 10.1016/0024-4937(92)90008-M
- Defant, M.J., and Drummond, M.S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662-665. DOI: 10.1038/347662a0
- Defant, M.J., Jackson, T.E., Drummond, M.S., De Boer, J.Z., Bellon, H., Feigenson, M.D., Maury, R.C., and Stewart, R.H., 1992. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview. *Journal of the Geological Society*, 149, 569-579. DOI: 10.1144/gsjgs.149.4.0569
- Didier, J., 1973. Granite and their enclaves: The bearing of enclave on the origin of granites. *Development in Petrology*, Elsevier, Amsterdam.
- Didier, J., and Barbarin, B., 1991. The different type of enclaves in granites: Nomenclature. J., Didier and B., Barbarin (Eds.), *Enclaves*

- in Granite Petrology. Amsterdam, Elsevier. 19-23.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944. DOI: 10.1016/j.gr.2010.09.006
- Dokuz, A., and Sünnetçi, K., 2019. Jurassic acidic magmatism in a back-arc setting, eastern Sakarya Zone, Turkey: Geochemical constraints and an evolutionary model. *Lithos*, 312–327. DOI: 10.1016/j.lithos.2019.02.022
- Dokuz, A., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Karlı, O., Siebel, W., Derman, A.S., and Turan, M., 2017a. Late Jurassic Magmatism and Stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the Slab Breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. *The Journal of Geology*, 125, 1-31. DOI: 10.1086/689552
- Dokuz, A., Gücer, M.A., Karlı, O., and Yi, K., 2022. From Cadomian back-arc basin to Rheic Ocean closure: the geochronological records of the Kurtoğlu Massif, eastern Sakarya Zone, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 111 (4), 1333-1355. DOI: 10.1007/s00531-022-02183-4
- Dokuz, A., Külekçi, E., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Cihat Alçiçek, M., Pecha, M.E., and Sünnetçi, K., 2017b. Cordierite-bearing strongly peraluminous Cebre Rhyolite from the eastern Sakarya Zone, NE Turkey: Constraints on the Variscan Orogeny. *Lithos*, 278-281, 285-302. DOI: 10.1016/j.lithos.2017.02.002
- Dokuz, A., Tanyolu, E. and Genç, S., 2006. A mantle- and a lower crust-derived bimodal suite in the Yusufeli (Artvin) area, NE Turkey: trace element and REE evidence for subduction-related rift origin of Early Jurassic Demirkent intrusive complex. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 370-394. DOI: 10.1007/s00531-005-0046-6
- Dokuz, A., Uysal, İ., Kaliwoda, M., Karlı, O., Ottley, C.J., and Kandemir, R., 2011. Early abyssal- and late SSZ-type vestiges of the Rheic oceanic mantle in the Variscan basement of the Sakarya Zone, NE Turkey: Implications for the sense of subduction and opening of the Paleotethys. *Lithos*, 127, 176-191. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.08.015
- Dokuz, A., Uysal, İ., Meisel, W., Turan, M., Duncan, R., and Akçay, M., 2013. Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: evidence for slab and crustal melting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 1443-1468. DOI: 10.1007/s00410-013-0936-8
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Zhu, D.-C., Yi, K., Chatterjee, N., Jeong, Y.-J., Akaryalı, E., and Liu, Z., 2016. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. *Gondwana Research*, 33, 160-189. DOI: 10.1016/j.gr.2015.07.006
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., and Chung, S.L., 2011. Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust–mantle transition zone: Petrology, geochemistry and U-Pb zircon chronology of the Seme adakites, eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 121, 151-166. DOI: 10.1016/j.lithos.2010.10.012
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O., and Kwon, S., 2012. Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt and revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of eastern

- Mediterranean region. *Lithos*, 146-147, 218-232. DOI: 10.1016/j.lithos.2012.04.034
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M., and Aoki, K., 1984. Partition coefficients of Hf, Zr, and ree between phenocrysts and groundmasses. *Journal of Geophysical Research*, 89 (S02), B662–B672. DOI: 10.1029/jb089is02p0b662
- Furman, T., and Graham, D., 1999. Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: Geochemical evidence from the Kivu volcanic province. *Lithos*, 48, 237-262. DOI: 10.1016/S0024-4937(99)00031-6
- Gill, J.B., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Springer-Verlag.
- Gücer, M.A., 2021. Origin, petrogenesis and geodynamic implications of the early Eocene Altınpınar adakitic andesites in the eastern Sakarya Zone, northeastern Turkey. *Geochemistry*, 81 (2), 125766. DOI: 10.1016/j.chemer.2021.125766
- Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C., and Akaryalı, E., 2017. Tersiyer yaşlı Altınpınar hornblendli andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) petrografisi, mineral kimyası ve p-t kristalleşme koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 236-267. DOI: 10.17714/gumusfenbil.310263
- Gücer, M.A., Delimehmet, Z., Çimen, O., 2024. Güneydere (Bayburt) civarında yüzeylenen Karbonifer yaşlı granitlerin jeokimyasal ve petrolojik karakteristikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* (baskıda). DOI: 10.5505/pajes.2024.99602
- Gücer, M.A., ve Sarı, E., 2021. Karbonifer Pamuktaş Plütönu'nun petrografisi, jeokimyası ve petrolojik özellikleri, Bayburt (KD Türkiye). *Yerbilimleri*, 42 (1), 85-120. DOI: 10.17824/yerbilimleri.889227
- Hawkesworth, C.J., Gallagher, K., Hergt, J.M., and McDermott, F., 1993. Trace element fractionation processes in the generation of island arc basalts. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 342(1663), 179-191. DOI: 10.1098/rsta.1993.0013
- Hibbard, M.J., 1991. Textural anatomy of twelve magmamixed granitoid systems. In: Didier, J., Barbarin, B. (Eds.), *Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology*, vol. 13. Elsevier, Amsterdam, pp. 431–444.
- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548. DOI: 10.1139/e71-055
- Janoušek, V., Farrow, C.M., and Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDKit). *Journal of Petrology*, 47 (6), 1255-1259. DOI: 10.1093/petrology/egl013
- Kandemir, R., and Yılmaz, C., 2009. Lithostratigraphy, facies and deposition environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 586-598. DOI: 10.1016/j.jseae.2008.08.006
- Kandemir, R., Lerosey-Aubril, R., 2011. First report of a trilobite in the Carboniferous of Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 179-183. DOI: 10.3906/yer-0911-3

- Karslı, O., Caran, S., Dokuz, A., Coban, H., Bin, C., and Kandemir, R., 2012. A-type granitoids from the Eastern Pontides, NE Turkey: records for generation of hybrid A-type rocks in a subduction-related environment. *Tectonophysics*, 530-531, 208-224. DOI: 10.1016/j.tecto.2011.12.030
- Karslı, O., Caran, Ş., Çoban, H., Şengün, F., Tekkanat, O. and Andersen, T., 2020. Melting of the juvenile lower crust in a far-field response to roll-back of the southern Neotethyan oceanic lithosphere: the Oligocene adakitic dacites, NE Turkey. *Lithos*, 370-371, 105614. DOI: 10.1016/j.lithos.2020.105614
- Karslı, O., Dokuz, A., and Kandemir, R., 2016. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. *Lithos*, 266, 98-114. DOI: 10.1016/j.lithos.2016.10.007
- Karslı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., Aydin, F., Schmitt, A.K., Ersoy, E.Y., and Alyıldız, C., 2019. Adakitic parental melt generation by partial fusion of the juvenile lower crust, Sakarya Zone, NE Turkey: a far-field response to break-off of the southern Neotethyan oceanic lithosphere. *Lithos*, 338-339, 58-72. DOI: 10.1016/j.lithos.2019.03.029
- Karslı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydin, F., Bin, C., Kandemir, R., and Wijbrans, R.J., 2010b. Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit pluton, Eastern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 467-487. DOI: 10.1007/s00410-010-0489-z
- Karslı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydin, F., Kandemir, R., and Wijbrans, R.J., 2010a. Generation of the early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. *Lithos*, 114, 109-120. DOI: 10.1016/j.lithos.2009.08.003
- Karslı, O., Uysal, I., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydin, F., Kandemir, R. and Wijbrans, R. J., 2011. Adakite-like granitoid porphyries in Eastern Pontides, NE Turkey: potential parental melts and geodynamic implications. *Lithos*, 127, 354-372. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.08.014
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve çevresinde yüzeylenen kayaçların petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 253 s, Trabzon
- Kaygusuz, A., and Guloglu, Z.S., 2022. Petrographical, Geochemical and Petrological Characteristics of the Mafic Microgranular Enclaves in the Arpaköy (Kürtün/Gümüşhane) Granitoid. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 11(1), 1982-1997.
- Kaygusuz, A., and Şen, C., 2011. Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde Geochemistry*, 71, 59-75. DOI: 10.1016/j.chemer.2010.07.005
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., and İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 1776-1800. DOI: 10.1080/00206814.2012.676371
- Kaygusuz, A., Aslan, Z., Aydınçakır, E., Yücel, C., Gücer, M.A., and Şen, C., 2018.

- Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of the Miocene to Pliocene volcanic rocks from the Kandilli (Erzurum) area, Eastern Anatolia (Turkey): Implications for magma evolution in extension-related origin. *Lithos*, 296-299, 332-351. DOI: 10.1016/j.lithos.2017.11.003
- Kaygusuz, A., Gücer, M.A., Yücel, C., Aydınçakır, E., and Sipahi, F., 2019. Petrography and crystallization conditions of Middle Eocene volcanic rocks in the Aydıntepe-Yazyurdu (Bayburt) area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 8 (2), 1205-1215.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., and Satir, M., 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 739-764. DOI: 10.1007/s00531-007-0188-9
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Aydınçakır, E., Gücer, M.A., and Ruffet, G., 2022. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of the Middle Eocene calc-alkaline volcanic rocks in the Bayburt area, Eastern Pontides (NE Turkey): Implications for magma evolution in an extension-related setting. *Mineralogy and Petrology*, 116 (5), 379-399. DOI: 10.1007/s00710-022-00788-w
- Koyaguchi, T., 1986. Textural and compositional evidence for magma mixing and its mechanism, Abu volcano group, Southwestern Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 93, 33-45. DOI: 10.1007/BF00963583
- Lacroix, A., 1890. Sur les enclaves acides des roches volcaniques d' Auvergne. *Bulletin du Service de la carte géologique de la France*, 2, 25-56.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750. DOI: 10.1093/petrology/27.3.745
- LeMaitre, R.W., 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- Martin, H., 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46, 411-429. DOI: 10.1016/S0024-4937(98)00076-0
- Martin, H., Smith, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F., and Champion, D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79, 1-24. DOI: 10.1016/j.lithos.2004.04.048
- Maas, R., Nicholls, I.A., Legg, C., 1997. Igneous and Metamorphic Enclaves in the S-type Deddick Granodiorite, Lachlan Fold Belt, SE Australia: Petrographic, Geochemical and Nd-Sr Isotopic Evidence for Crustal Melting and Magma Mixing. *Journal of Petrology*, 38, 815-841. DOI: 10.1093/etroj/38.7.815
- Maury, R.C., Sajona, F.G., Pubellier, M., Bellon, H., and Defant, M.J., 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: l'exemple de Mindanao (Philippines). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167, 579-595.

- Münker, C., Wörner, G., Yogodzinski, G., and Churikova, T., 2004. Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 3-4, 275-293. DOI: 10.1016/j.epsl.2004.05.030
- Okay, A.İ., and Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Eds), *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region*. AAPG Bulletin, 68, 291-311. DOI: 10.1306/m68612c15
- Okay, A.İ., and Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. *The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515. DOI: 10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22
- Pearce, J. A., ve Peate, D. W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285. DOI: 10.1146/annurev.earth.23.050195.001343
- Pearce, J.A., 1983. The Role of Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Destructive Plate Margins. C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (eds) In: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva Publishing, Cheshire, 230-249.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moor bath, S., and Mitchell, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229. DOI: 10.1016/0377-0273(90)90018-B
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81. DOI: 10.1007/BF00384745
- Rogers, G., Saunders, A.D., Terrell, D.J., Verma, S.P., and Marriner, G.F., 1985. Geochemistry of Holocene volcanic rocks associated with ridge subduction in Baja California, Mexico. *Nature*, 315, 389-392. DOI: 10.1038/315389a0
- Romick, J.D., Kay, S.M., and Kay, R.W., 1992. The influence of amphibole fractionation on the evolution of calc-alkaline andesite and dacite tephra from the central Aleutians, Alaska. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 112, 1, 101-118. DOI: 10.1007/BF00310958
- Rosenbaum, G., and Lister, G.S., 2002. Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan orogen - an introduction. In: G. Rosenbaum, G.S. Lister, (eds.), *Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen*. *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 1-2. DOI: 10.3809/jvirtex.2002.00051
- Saydam Eker, Ç., 2020. Geochemical differences between bed and terrace sediments of the Harşit Stream (NE Turkey): Implications for mixed source rocks, weathering and mass transfer. *Yerbilimleri*, 2020, 41 (1), 1-29. DOI: 10.17824/yerbilimleri.684511
- Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., and Sipahi, F., 2016. Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 467-489. DOI: 10.3906/yer-1512-12
- Saydam Eker, Ç., Arı, U. V., 2023. Geochemical characterization of late Jurassic–early Cretaceous age limestones from Gümüşhane (NE-Türkiye):

- identification of the source of organic matter and paleo-environment conditions. *Carbonates Evaporites* 38, 12. DOI: 10.1007/s13146-022-00835-9
- Sipahi, F., Gücer, M.A., and Sadıklar, M.B., 2020b. Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone (NE Turkey): A geochemical and isotopic approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29 (6), 831-852. DOI: 10.3906/yer-2002-9
- Sipahi, F., Gücer, M.A., and Saydam Eker, Ç., 2020a. Geochemical composition of magnetite from different iron skarn mineralizations in NE Turkey: implication for source of ore forming fluids. *Arabian Journal of Geosciences*, 13 (2), 70. DOI: 10.1007/s12517-019-5052-2
- Sipahi, F., Gücer, M.A., Dokuz, A., Yi, K., Kaygusuz, A., Akaryalı, E., Saydam Eker, Ç., and Doruk, C., 2023. The Sr, Nd, Pb and Hf isotopes and crystallization conditions of the middle Eocene Dağdibi Pluton in the eastern Sakarya Zone, Turkey. *Geological Magazine*, 160 (6), 1193-1210. DOI:10.1017/S001675682300033X
- Sipahi, F., Gücer, M.A., ve Sadıklar, M.B., 2019. Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) Dayklarının Jeokimyası ve Jeolojik Anlamı. *Yerbilimleri*, 40 (3), 293-325. DOI: 10.17824/yerbilimleri.633036
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., and Akpınar, İ., 2018. Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60 (3), 382-400. DOI: 10.1080/00206814.2017.1336120
- Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A., and Aydurmuş, T., 2022. Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey: a case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review*, 64 (11), 1530-1555. DOI: 10.1080/00206814.2021.1941323
- Stern, C.R., and Kilian, R., 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123 (3), 263-281. DOI: 10.1007/s004100050155
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 62, 141-184. DOI: 10.1016/0031-9201(90)90198-7
- Sun, S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313-345. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19
- Şen, C., 2007. Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: Is it rift related or subduction related? *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Şengör, A.M.C., Altıner, D., Cin, A., Ustaömer, T., and Hsü, K.J., 1988. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. *Geological Society, London, Special Publications*, 37, 119-181. DOI: 10.1144/GSL.SP.1988.037.01.09
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241. DOI: 10.1016/0040-1951(81)90275-4
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and*

- Evolution. Blackwell Scientific Publications, Blackwell, Oxford, U.K., 312 p.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241–265. DOI: 10.1029/95RG00262
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A., and Aslan, Z., 2020. Eocene tonalite-granodiorite from the Havza (Samsun) area, northern Turkey: adakite-like melts of lithospheric mantle and crust generated in a post-collisional setting. *International Geology Review*, 62, 1131-1158. DOI: 10.1080/00206814.2019.1625077
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., and Ruffet, G., 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258-259, 92-114. DOI: 10.1016/j.lithos.2016.04.023
- Thirlwall, M.F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P. and Davidson, J.P., 1994. High Field Strength Element Anomalies in Arc Lavas: Source or Processes. *Journal of Petrology*, 35, 819-838. DOI: 10.1093/petrology/35.3.819
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O. and Schwarz, W.H., 2004. Aluminous granulites from the Pular complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization. *Lithos*, 72, 183-207. DOI: 10.1016/j.lithos.2003.10.002
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M. and Dokuz, A., 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 441-455. DOI: 10.1007/s00410-005-0022-y
- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satır, M. and Şen, C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92-110. DOI: 10.1016/j.lithos.2010.01.003
- Topuz, G., Okay, A.İ., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Zack, T., Satır, M., and Şen, C., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Ağvanis massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos* 125, 131-150. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.02.003
- White, A.R., and Chappell, B.W., 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7–22. DOI: 10.1016/0040-1951(77)90003-8
- White, A.J.R., Chappell, B.W., Wyborn, D., 1999. Application of the Restite Model to the Deddick Granodiorite and its Enclaves —a Reinterpretation of the Observations and Data of Maas et al. (1997). *Journal of Petrology*, 40, 413-421. DOI: 10.1093/etroj/40.3.413
- Winchester, J.A., and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343. DOI: 10.1016/0009-2541(77)90057-2
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth*

- Planet Science Letter, 50, 11-30. DOI: 777. DOI: 10.1016/0012-821X(80)90116-8 10.1080/00206814.2018.1461029
- Woudloper, 2009. Tectonic map Mediterranean EN. https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Woudloper#/media/File:Tectonic_map_Mediterranean_EN.svg (licensed under CC BY-SA 1.0 via Wikimedia Commons). Accessed: 3 October 2020.
- Yılmaz Şahin, S., Aysal, N., and Güngör, Y., 2012. Petrogenesis of Late Cretaceous Adakitic Magmatism in the İstanbul Zone (Çavuşbaşı Granodiorite, NW Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 21, 1029-1045. DOI: 10.3906/yer-1005-15
- Yücel, C., 2019. Geochronology, geochemistry, and petrology of adakitic Pliocene-Quaternary volcanism in the Şebinkarahisar (Giresun) area, NE Turkey. International Geology Review, 61 (6), 754-
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, I., and Abdioğlu Yazar, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides northeast Turkey implications for pre eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. Mineralogy and Petrology, 108(3), 439-467. DOI: 10.1007/s00710-013-0306-2
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu Yazar, E., and Ruffet, G., 2017. Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: Geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). Gondwana Research, 45, 65–86. DOI: 10.1016/j.gr.2016.12.016